



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# KONSTRUKČNÍ NÁVRH UPÍNACÍHO ZAŘÍZENÍ PRO TRUBKOVÉ VODIČE

DESIGN OF CLAMPING DEVICE FOR TUBULAR CONDUCTORS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Igor Schaffelhofer

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Igor Schaffelhofer**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Konstrukční návrh upínacího zařízení pro trubkové vodiče

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Upínání trubkového vodiče je stěžejní částí svařovací linky pro výrobu zapouzdřených plynem izolovaných vodičů a rozvaděčů. Proto bude vytvořen nový mechanismus pro jejich upínání.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti upínání dílců pro svařování.  
Konstrukční návrh upínače.  
Vlastní zhodnocení v závěru práce.

### Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřená na konstrukční návrh upínacího zařízení, které je součástí svařovacích polohovadel pro svařování trubkových hliníkových vodičů ve společnosti ABB. V teoretické části jsou uvedeny jednotlivé požadavky upínacích zařízení s příklady jejich aplikací. Praktická část je zaměřená na konstrukční návrhy jednotlivých dílů, splňujících požadavky pro trubkové vodiče a funkčnost upínacího systému pro obloukové svařování hliníkových slitin.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on design of clamping device, which is a part of welding positioners for welding of aluminum tube conductors in ABB company. In the theoretical part, there are individual requirements of clamping devices with examples of their applications. The practical part is focused on the design of individual parts that meet the requirements for tube conductors and the functionality of the clamping system for arc welding of aluminium alloys.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rozpínací systém, upínání svařenců, obloukové svařování, zapouzdřené rozvodny, trubkové vodiče, svařovací polohovadla.

## **KEYWORDS**

Expansion system, weldment clamping, arc welding, gas insulated switchgears, tubular conductors, welding positioners.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SCHAFFELHOFER, I. *Konstrukční návrh upínacího zařízení pro trubkové vodiče*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 91 s., Vedoucí /bakalářské práce Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Zdeňku Tůmovi, Ph.D za jeho vedení a cenné rady v průběhu vypracování bakalářské práce. Své velké díky bych také rád věnoval svému nadřízenému Ing. Maroši Miháčovi a zaměstnancům oddělení svařovny ABB PHGV v Brně, za vstřícnost a pomoc při tvorbě práce.

V poslední řadě bych rád poděkoval rodičům a svojí rodině za velkou podporu při studiu.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2019

.....

Igor Schaffelhofer



# OBSAH

1	ÚVOD .....	15
2	Upínání svařovaných součástí .....	17
2.1	Upínací přípravky .....	18
2.1.1	Definice, účel, konstrukční zásady upínacích přípravků .....	18
2.1.2	Svěrky, svěráky a svařovací stoly .....	20
2.1.3	Sklíčidla .....	21
2.1.4	Speciální upínací přípravky .....	22
2.1.5	Svarové podložky a příločky .....	22
2.2	Polohovadla a manipulátory .....	23
•	Manipulátory .....	24
2.3	Jiné metody svařování a upínání trubek .....	25
3	Představení společnosti abb .....	27
3.1	Jednotka ABB PGHV Brno .....	27
3.1.1	Plynem izolované rozvodny .....	28
3.1.2	Konstrukce a požadavky zapouzdřených vodičů .....	29
3.1.3	Izolační plyn .....	30
3.2	Výrobní proces ABB PGHV Brno .....	31
3.3	Technologie oddělení svařovny .....	32
4	SVAŘOVACÍ AUTOMATIZACE abb .....	35
4.1	Stávající svařovací automatizace metody TIG .....	36
4.2	Způsob upínání svařovaných částí .....	39
4.3	Princip funkce rozpínacího mechanismu polohovadel .....	41
4.4	Rozbor vybraných částí rozpínacího mechanismu .....	43
4.4.1	Pneumatický válec .....	43
4.4.2	Rozpínací trn .....	44
4.4.3	Výsledek rozboru mechanismu .....	46
5	KONSTRUKČNÍ NÁVRH .....	47
5.1	Požadavky .....	47
5.2	Upnutí krajních částí na polohovadle .....	49
5.2.1	Tříčelistové sklíčidlo .....	49
5.2.2	Vymezovací půlkruhy .....	52
5.2.3	Zhodnocení .....	54
5.3	Rozpínací mechanismus .....	54
5.3.1	Lineární vedení mechanismu .....	56
5.3.2	Hybná část rozpínacího mechanismu .....	63
5.3.3	Koncepční návrh rozpínacího systému .....	72
5.3.4	Rozpínací trn .....	75
5.4	Svarové podložky .....	79
6	Zhodnocení a diskuze .....	81
7	Závěr .....	82
8	Seznam použitých zdrojů .....	83
9	Seznam zkratk, symbolů, obrázků a tabulek .....	87
9.1	Seznam tabulek .....	87

9.2	Seznam obrázků.....	87
9.3	Seznam symbolů a zkratk .....	89
10	Seznam příloh .....	91

# 1 ÚVOD

Svařování je společně s obráběním, tvářením a povrchovými úpravami jedno z nejrozšířenějších strojírenských technologií, které dokáže zpracovávat více než 26% kovových materiálů, jehož podíl je ve strojírenství 6 – 8% pracnosti [1] [2]. Spolu s vývojem zpracování kovů se svařování stalo jedním z hlavních technologických procesů pevného nerozebíratelného spojování dvou a více kusů materiálu, které díky svým výhodám našlo uplatnění v různých odvětvích průmyslu. V dnešní moderní době by svět bez svařování nevypadal tak, jak jej dnes známe. Svařované součásti jsou nedílnou součástí konstrukčních prvků ode dna oceánu, konstrukčních celků na zemském povrchu, leteckého průmyslu až po výstavbu vesmírných raketoplánů a družic. Svařované součásti lze nalézt také všude v domácnostech, ve spotřebičích, ale také v budovách, mostech a automobilech.

*Svařované spoje se vyznačují pevností, těsností a trvanlivostí.* Užití svařovaných konstrukcí bývá nejčastěji z ekonomických důvodů jako náhrada odlitků a výkovků v kusové a malosériové výrobě, kde se vyznačují snížením hmotnosti až o 50% a také v mnoha ohledech při zjednodušení konstrukce a rychlé realizaci projektů. Svařované konstrukce tak najdou uplatnění jak v malých dílech, tak i ve velkých rozměrných konstrukcích [3].

Historie svařování zasahuje do starověku již do období 3000 př. n. l., kde při metalurgickém zpracování mědi, cínu a později i bronzu docházelo k pokusům spojování částí jejich zahřátím a kování do jednoho celku. Důkazem jsou nalezené artefakty v podobě dýk, krabic s panty a mečů v oblastech dnešního Egypta a Řecka, které by bez pomocných přípravků a pomůcek nemohly být vyrobeny. První upínací přípravky tak byly v podobě opracovaných kamenů. Dlouhá staletí bylo kovářské svařování jedinou metodou svařování až do konce 19. století, kde díky objevu elektrického oblouku a objevu výroby karbidu vápníku a acetylénu se metody svařování rozšířily o svařování elektrickým obloukem, odporové a plamenové svařování. Toto období bývá též označováno jako objev novodobého svařování. Během první a druhé světové války se tak svařování stalo jednou z hlavních strojírenských technologií při výrobě zbraní a vozidel. Pokroky ve svařování během obou světových válek vedly k objevení nových množství metod ve 20. století a rozšíření této technologie do dalších odvětví průmyslu. [1] [2] [4]

S rozvíjejícími se strojírenskými technologiemi a vyššími požadavky na přesnost, bezpečnost, hospodárnost, snížení vedlejších časů ale také odstranění fyzické námahy se spolu s technologiemi rozvíjí také upínání obrobků, nástrojů a pomocných přípravků. Upínání obrobků bývá zpravidla rozdílné jak pro různé strojírenské technologie, ať už obrábění nebo svařování, tak i pro danou metodu v závislosti na rozměrech a materiálech obrobku. Mnohdy jsou upínací přípravky a zařízení jednoúčelové, obzvláště v automatizovaných linkách vyrábějících sériové produkty, automotive nebo robotizovaných a jiných pracovištích.

Přestože jsou vyvíjeny nové trendy a upínací systémy, mnohá konstrukční řešení upínacích přípravků těžší z přípravků vyvinutých během světových válek a rozvoje automobilového průmyslu v poválečném období. Jedná se tak především o upínací přípravky kruhových tvarů, tyčí a trubek, které sice prošly řadou inovací, ale v posledních letech jim nebyla věnována větší pozornost. Vzorem jsou univerzální čelist'ová sklíčidla, která jsou i přes svou dlouhodobou historii nejvíce využívána pro upínání obrobků kruhových tvarů.

Svařovací přípravky a upínání svařenců kruhových tvarů je z většiny případů totožné s upínáním obrobků při třískovém obrábění. Stejně jako u obrábění jsou pro svařování trubkových a kruhových částí hojně využívána sklíčidla, upínky, ale také mechanismy, vycházejících z konstrukčních návrhů z minulosti. I přes podobnost upínání při svařování a obrábění je nutné přistupovat k jednotlivým přípravkům zvlášť a volit vhodné přípravky pro svařování vzhledem k jejich požadavkům, které určuje především požadovaná kvalita finálního výrobku a metoda svařování. Příkladným rozdílem tak může být požadovaná vysoká tuhost obráběcích přípravků v porovnání se svařovacími a vhodná volba tepelně odolných materiálů svařovacích přípravků při obloukovém svařování.

Cílem bakalářské práce je návrh upínacího zařízení pro svařování hliníkových trubkových vodičů, které jsou součástí zapouzdřených plynem izolovaných rozvodů. Upínací zařízení bude částí svařovacích polohovadel pro obloukové svařování metodou wolframové netavící se elektrody v inertním plynu. Jedná se tak o rozšíření produkce na stávajícím zařízení, na kterém se produkuje hliníková přírubová pouzdra těchto vodičů v pobočce společnosti ABB PGHV Brno. Na obr.1 je možné vidět stávající svařovací automatizaci pro svařování přírubových pouzder plynem izolovaných vodičů.

Při řešení konstrukčního návrhu bylo nutné přistupovat k jednotlivým požadavkům pro zapouzdřené vodiče velmi vysokého napětí, požadavkům upínání částí při obloukovém svařování, ale také samotnému svařování hliníkových slitin, které jsou v bakalářské práci definovány a analyzovány. Hliníkové slitiny jsou díky své lehkosti, pevnosti a vysoké elektrické vodivosti vhodným materiálem zapouzdřených vodičů, avšak jejich svařování je problematictější a náročnější s porovnáním běžných ocelí.

Motivací pro volbu a vypracování bakalářské práce je pracovní pozice v oddělení svařovny ABB PGHV Brno a rozšíření možností produkce oddělení. Dále je to také možnost navrhnout takové řešení mechanismu, jehož využití nebude pouze pro svařované vodiče, ale jednoduchou úpravou bude v budoucnu schopné upínat i rozmanitější produkty.



Obr. 1) Svařovací automatizace ABB



## 2 UPÍNÁNÍ SVAŘOVANÝCH SOUČÁSTÍ

Pro zachování rozměrů svařeného celku dle výkresové dokumentace, kvality svárů, a především splnění požadavků zákazníka je nezbytné svařované části vůči sobě správně sestavit a zafixovat. Běžné pracovní časy svařoven se sestávají z 60 – 70% vedlejších časů způsobených převážně ustavením a upnutím částí svařence a také manipulací během svařování, uvolněním celku a manipulací po dokončeném svařování [5]. Pro ustavení a upnutí součástí slouží různé typy fixačních, svařovacích a upínacích přípravků, polohovadel a manipulátorů, jejichž volba může být jak pro pouhou fixaci během stehování součástí, tak mohou být i klíčovou částí sestavením a upnutím svařence během celého procesu svařování. Upínání a sestavení svařovaných částí má tedy také veliký vliv na velikost vedlejších časů a jednou z rozhodných voleb vhodného přípravku je také produktivita a ekonomičnost. Upínací přípravky, polohovadla a manipulátory jsou tak dílčí částí mechanizovaných a automatizovaných svařoven, jejichž vývoj je tlačěn kupředu stále zvyšujícími se požadavky na rychlost a přesnost výroby a snížením nákladů. [6] [5]

Nejčastější aplikací bývají kombinace automatizovaných polohovadel a manipulátorů s dalšími upínacími přípravky, které mohou být ovládány ručně, ale také pneumaticky, hydraulicky, elektricky nebo jejich kombinacemi. Na obr.2 je možné vidět příklad tříosého rotačního polohovadla, které je vybavené upínací deskou s drážkami tvaru T, jež umožňují použití různých druhů ručních upínek, ale také upevnění větších přípravků.

V následujících kapitolách jsou definovány jednotlivé požadavky a konstrukční zásady upínacích přípravků pro svařování a také příklady standardních upínacích zařízení a pomůcek vhodných pro svařování trubkových profilů s možností aplikace pro obloukové svařování metodou TIG – netavící se elektrodou v inertním plynu.



Obr. 2) Tříosé polohovadlo [7]

## 2.1 Upínací přípravky

Příprava svařování, sestavování dílů a průběh procesu svařování se v dnešní době téměř neobejde bez užití upínacích přípravků, které k jejich vhodné volbě zaručí požadovanou výstupní kvalitu. Upínací přípravky jsou pak častou aplikací na svařovacích polohovacích a manipulátorech, a zajišťují rozmanitost vyráběných produktů.

### 2.1.1 Definice, účel, konstrukční zásady upínacích přípravků

Při volbě vhodných upínacích přípravků a pomůcek je nutné vycházet z obecných hledisek a výslednému použití přípravku.

Definování a účel použití vhodného přípravku pro danou aplikaci lze určit dle těchto bodů:

#### Určení

Upínací přípravky pro svařování jsou pomocná zařízení pro sestavení a vzájemnou fixaci svařovaných součástí, ustavení svařovaného celku a jeho směrů svárů s ohledem na použitou metodu a druh svařování. Fixace svařovaných součástí může být určena pro pouhé sestavení a nastehování jednotlivých dílů svařovaného celku při ručním svařování, ale také pro celý proces svařování, jejichž nejvyššího uplatnění lze nalézt v mechanizovaných a robotizovaných svařovacích linkách.

Účel upínacích přípravků lze shrnout do těchto tří bodů.

- Jednoznačné ustavení svařence při svařování.
- Vzájemné ustavení svařovaných součástí.
- Nastavení svařence vůči poloze a směru svařování. [3]

#### Požadavky

Pro zachování kvality svárů, rozměrů a tolerancí celého výrobku, vyloučení poškození a deformaci výrobku vlivem upnutí, eliminaci poškození upínacího a svařovacího zařízení, ale také pro zachování bezpečnosti při práci je nutné, aby upínací zařízení splňovaly tyto požadavky.

- Upínací přípravky musí držet svařenec pevně proti všem rušivým silám působících na svařenec.
- Upínací síla musí být dostatečně velká pouze k tomu, aby svařované součásti zůstaly vůči sobě zafixovány ve správné a pevné poloze.
- Upínací přípravek musí zajistit správnou a tuhou polohu svařence vůči poloze a směru svařování.
- Upínání by nemělo poškodit výrobek při jeho držení.
- Upínání svařovaných součástí by mělo být provedeno tam, kde má svařenec dostatečnou oporu vůči přípravku. Svařenec se nesmí prohýbat vlivem upínací síly.
- Upnutí by mělo být provedeno ideálně v nejtěžších bodech součástí.
- Upnutí musí být dostatečně tuhé natolik, aby minimalizovalo deformace a průhyb součástí během svařování.
- Upnutý svařenec se nesmí během svařování uvolňovat z upínacího přípravku vlivem vibrací a jiných okolních vlivů.

- Upnutí musí být voleno tak, aby byly dodrženy rozměry a tolerance dle výkresové dokumentace. [8]

### Význam

Volba vhodného druhu a systému upínacího zařízení má značný podíl na snížení neproduktivních časů svařoven. Upínací zařízení nemusejí být pouze nezbytně nutná pro daný svařovací proces, jsou také volena s ohledem na ekonomičnost a hospodárnost provozu, ale také pro zvýšení přesnosti a efektivity svařovny s cílem zvýšením své konkurenceschopnosti.

Smysl a význam upínacích přípravků a zařízení lze shrnout do těchto bodů:

- Umožnění automatizace a mechanizace výroby.
- Rozšíření možností výrobního zařízení.
- Zefektivnění výroby.
- Zpřesnění výroby.
- Dodržení rozměrů svařenců. Umožnění vzájemné vyměnitelnosti svařených součástí.
- Zmírnění a odstranění deformací.
- Zlepšená a stejnosměrná kvalita svarů.
- Zkrácení vedlejších časů.
- Zvýšení bezpečnosti práce.
- Odstranění tělesně namáhavé práce.
- Zjednodušení obsluhy.
- Zjednodušení práce při sestavování dílů.
- Zjednodušení nastavení svařovacího zařízení, snížení počtu úkonů pro nastavování svařovacích proudů.
- Usnadnění kontroly svarů.
- Zkrácení přípravy předvýrobních složek i průběžné doby výroby svařenců.
- Umožnění rychlého a levného zaškolení pracovních sil. [5] [3]

### Konstrukční zásady

Upínací přípravky při svařování jsou v mnoha případech téměř totožné s upínacími přípravky pro třískové obrábění, avšak k jejich konstrukčním řešením je nutné přistupovat pouze jako ke svařovacím.

Svařovací přípravky a upínací zařízení je nutné volit s ohledem na metodu svařování, typy svarových spojů a rozměry součástí. Při konstrukčním návrhu přípravku je dále nutné zohlednit i ekonomickou návratnost. Pro prototypové a kusové výrobky tak zpravidla bývají konstrukční řešení přípravků velmi jednoduchá. Při malosériových a velkosériových produkcích bývají přípravky již zpravidla konstrukčně složitější, a jejich ekonomická návratnost může být i několik let. [6]

Při návrhu konstrukčního řešení nového přípravku je vhodné postupovat dle těchto bodů:

1. Vyjasnění celého pracovního postupu svařované součásti a určení prvního výchozího směru svařování.

2. Pro menší série je vhodné užití jednoho přípravku pro více operací.
3. Rozhodnutí, pro kolik druhů svařovaných součástí bude přípravek zhotoven.
4. Pro zajištění stability přípravku je vhodné upnutí volit blíže k sváru.
5. Materiál, z něhož je přípravek zhotoven, musí být tepelně odolný.
6. Při obloukovém svařování je nutné zabezpečit vedení elektrického proudu do svařované součásti.
7. Přípravek musí být dostatečně tuhý vůči deformaci upínacích sil a deformačních sil během svařování.
8. Je nutné volit správné předepnutí svařovaných míst
9. Svařované součásti v přípravku by měly být zajištěné pevnými dorazy.
10. Jednoduché a pohodlné ovládání přípravku a dostupné ovládací prvky.
11. Musí být zajištěno jednoznačné ustavení svařovaných součástí.
12. V případě manipulace s přípravkem je nutné brát ohled na jeho hmotnost.
13. Na rotujících polohovacích je nutné přípravky a upnutí svařovaných součástí dostatečně vyvážit.
14. Upínací prvky přípravku vystavené tepelnému zatížení a velkým tlakům, je vhodné konstruovat jako vyměnitelné.
15. Upínání a uvolňování obrobku musí být jednoduché a v krátkém čase.
16. Práce s upínacím přípravkem musí být pro obsluhu bezpečná.
17. Při konstrukci je vhodné užití co největšího počtu normalizovaných součástí.
18. Je vhodné přípravek řešit stavebnicově. [6] [3]

### Rozdělení upínacích přípravků

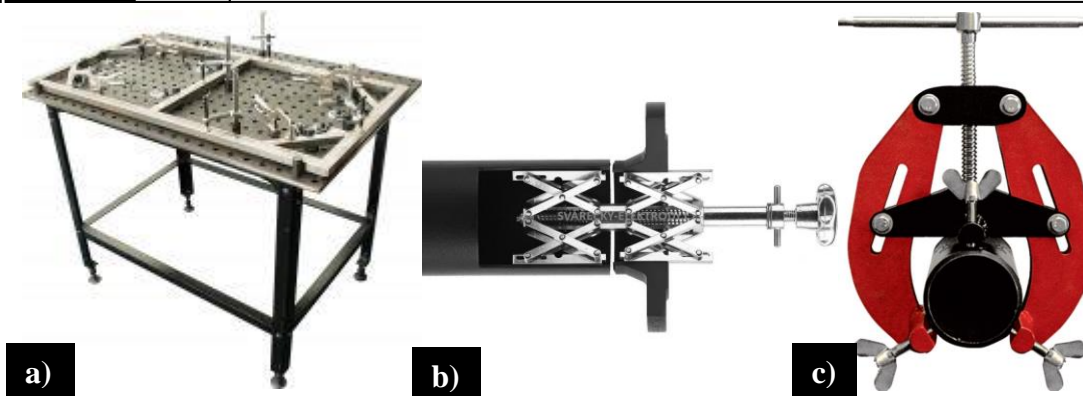
Existuje mnoho aplikací a druhů svařovacích přípravků, které se od sebe výrazně liší tvary, použitými materiály a také způsobem použití a druhu operace. Vzhledem k různým aplikacím a určením přípravků není nutné přípravky dělit z obecného hlediska a bude zaměřeno pouze na konstrukční řešení pro upínací přípravky při svařování.

Upínací přípravky pro svařování tak lze omezit na rozdělení dle:

- *Rozsahu použitelnosti:*
  - *Univerzální*
  - *Skupinové*
  - *Stavebnicové*
  - *Jednoučelové*
- *Způsobu upínání*
  - *s ručním upínáním*
  - *s mechanickým upínáním (pneumatické, hydraulické, elektromechanické, magnetické, kombinované) [3]*

### **2.1.2 Svěrky, svěráky a svařovací stoly**

Nejčastější aplikací svěrek a svařovacích stolů bývá zpravidla v malých dílnách při produkci rozměrově menších součástí, ale také v malosériové a prototypové produkci. Díky rozmanitosti svěrek a systémem upnutí ve svařovacích stolech je možné sestavení rozměrově složitějších součástí. Na obr. 3 a) je možné vidět systém upnutí pomocí svěrek na svařovacím stole.



Obr. 3) Svěrky a) Svařovací stůl [9]; b) Vnitřní svěrka [10]; c) Vnější svěrka [11]

Při svařování trubek je nejčastější použití svěrek a svěráků s vnějším (obr.3c)) nebo vnitřním (obr.3 b)) středěním částí. Jejich hlavní výhodou jsou malé rozměry. Svěrky pro svařování trubek se nejčastěji užívají v místě stavby a finální realizace, kde není možné použít rozměrnějších svařovacích přípravků ale také jako operativní řešení, kde není možné předdefinovat jednotlivé rozměry svařených součástí.

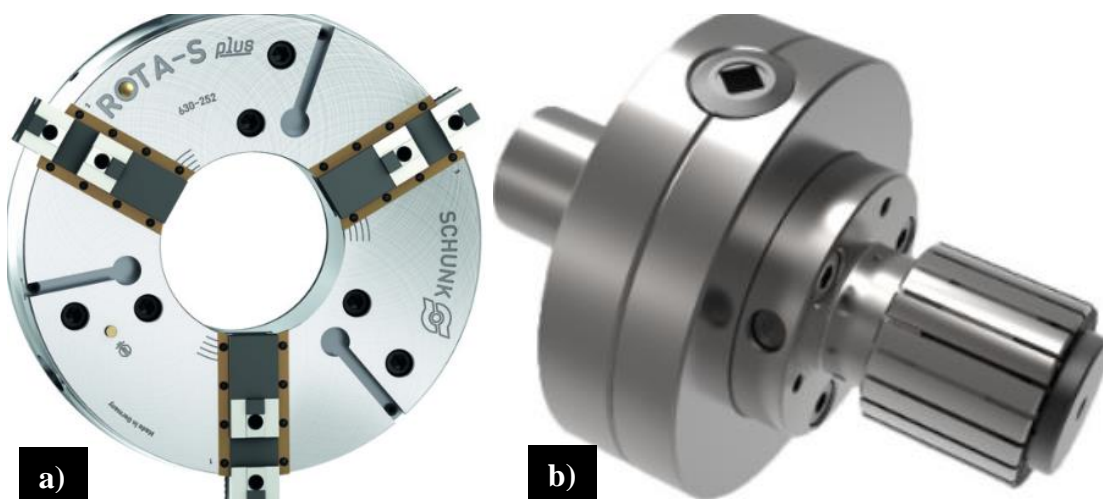
### 2.1.3 Sklíčidla

Sklíčidla jsou nerozšířenějšími přípravky pro upínání rotačních částí. Kromě upínání obrobků a svařenců jsou využívána také pro upínání nástrojů a jejich aplikaci lze nalézt také v domácích zařízeních a psacích potřebách.

Způsob použití sklíčidla lze rozdělit na vnitřní upnutí a vnější upnutí.

Při třískovém obrábění a při svařování jsou nejčastěji používána tři a více čelist'ová sklíčidla, která vnějšími nebo vnitřními čelistmi upne obrobek. Tvar čelistí ve standardních případech umožňuje vnitřní i vnější upnutí bez nutnosti čelisti měnit.

Upnutí sklíčidel na obráběcích a svařovacích zařízeních je několik druhů a jsou zpravidla normalizovaná. Nejčastěji je využito upnutí přes středící přírubu lícní desky dle mezinárodní normy ISO -702. Na obr.4 je příklad tříčelist'ového univerzálního sklíčidla s průchozí dírou.



Obr. 4) Sklíčidlo a) Tříčelist'ové sklíčidlo [12]; b) Rozpínací trn [13]

Druhým nejčastějším konstrukčním řešením jsou kleštinová sklíčidla. Upnutí na těchto sklíčidlech je zajištěno pomocí rozpínacího trnu kuželového tvaru, který svým pohybem v ose

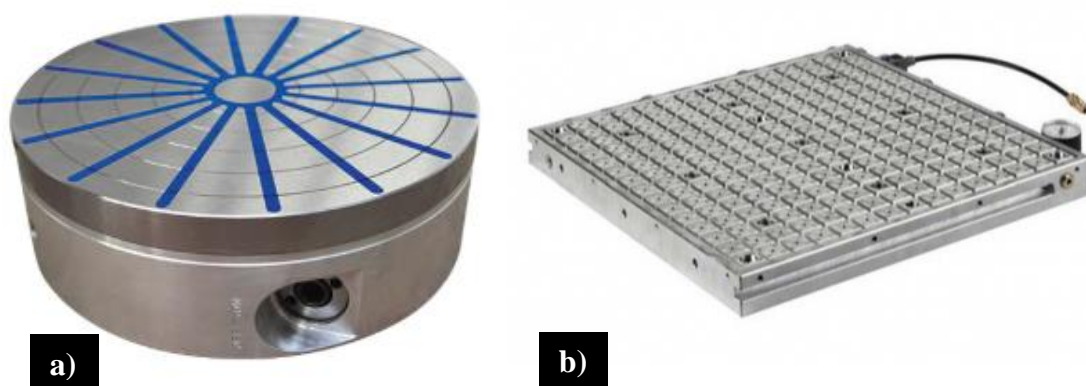
roztáhne kleštinu a dosáhne tak upnutí. Jejich aplikace bývá pro vnitřní, ale také pro vnější upnutí, kde je kleština s vnějším kuželovým tvarem vtlačována do pouzdra. Kleštinová sklíčidla oproti čelistovým umožňují upnutí v malém rozsahu průměrů, avšak velkou výhodou jsou jejich malé rozměry. Proto se hojně využívají pro upínání nástrojů. Na obr.4 b) je možné vidět příklad kleštinového sklíčidla s vnitřním rozpínacím trnem.

Upínání a ovládání sklíčidel je zajištěno manuálně, pneumaticky, hydraulicky, elektricky anebo jejich kombinací.

#### 2.1.4 Speciální upínací přípravky

Do kategorie speciálních upínacích přípravků spadají upínací zařízení, které části obrobků a svařenců nejistí mechanickou silou ani tvarem.

Příkladem takových přípravků jsou magnetické upínací desky (obr.5 a)) a vakuové upínací systémy (obr.5 b)).



Obr. 5) Upínací desky a) Magnetická deska [14]; b) Vakuová deska [15]

Možnosti upnutí na tyto systémy jsou ale omezené. V případě magnetické desky je nutné, aby byl obrobek z magnetického materiálu nebo alespoň obsahoval plochy, přes které je za pomoci dalších přípravků umožněno upnutí. Vakuový i magnetický systém pak vyžadují, aby dosedající plochy součástí byly rovné a v případě vakuového i s malou drsností povrchu.

Aplikace těchto systémů lze nalézt v obráběcích centrech, kde upínací desky bývají kombinované.

#### 2.1.5 Svarové podložky a příložky

Svarové podložky a příložky mohou být součástí upínacích zařízení při svařování, ale také mohou být samostatnou svařovací pomůckou.

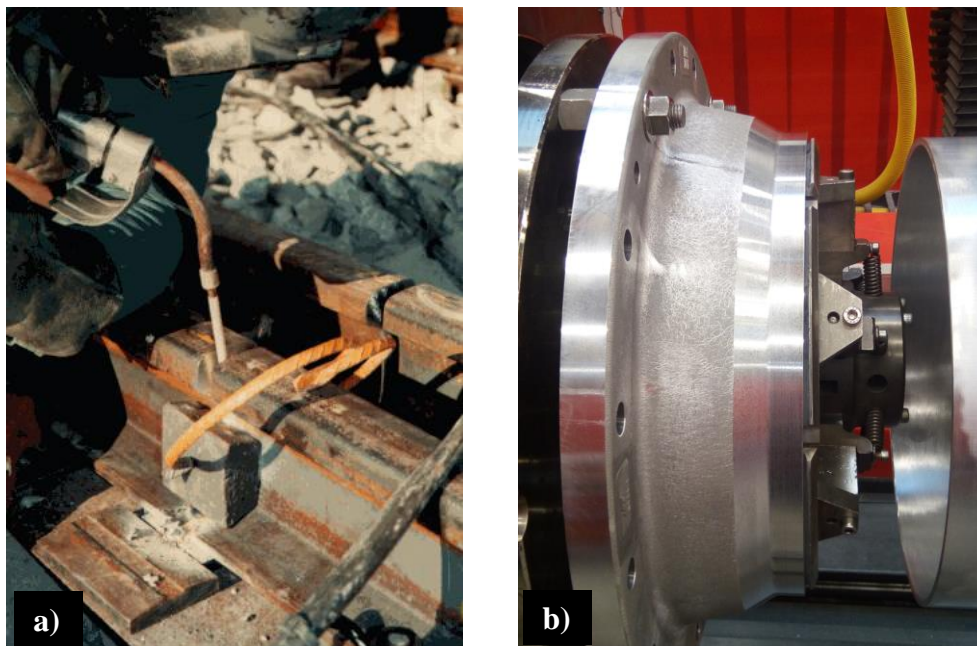
Funkce a použití podložky a příložky jsou si velice blízké.

Svarové příložky se využívají pro sestavení dílů, vymezení tvarů a také pro zajištění vyplnění velké svarové mezery. Svarová příložka může být po svaření částí oddělena, ale lze nalézt příklady, kde je žádoucí, aby příložka zůstala součástí svařence. Příklad použití příložky je možné vidět na obr.6 a), kde je zobrazeno svařování velké mezery paty a hlavy kolejnic, zajištěné po stranách příložkami.

Použití svarových podložek je možné vidět zpravidla u tupých spojů (obr.6 b). Princip jejich funkce je sestavení částí pro svařování v rovině a zajištění nepropadání svařovaného a přídavného materiálu. Tím dojde vytvoření stabilnější svarové lázně a lepšímu a kvalitnějšímu provaření obou materiálů. Svarové podložky mohou být v místě svaru vybavené drážkami.



Těchto se uplatňuje pro kořene svarů za účelem dokonalého navaření vnitřních hran svarového spoje.



Obr. 6) a) Svarová příložka [16]; b) Svarová podložka

Volba materiálů svarových podložek a příložek bývá různá. Při žádoucím odvodu tepla z místa svařování se volí příložky a podložky z mědi a jejích slitin. Alternativou mohou být i žáruvzdorné ocele. V případě velkého tepelného zatížení a možného roztavení měděných nebo přivaření ocelových podložek, jsou vhodnou volbou keramické materiály.

## 2.2 Polohovadla a manipulátory

Mezi základní vybavení mechanizačních přípravků a zařízení automatizovaných a robotizovaných technologických pracovišť svařoven (RTP) patří polohovadla a manipulátory. Jejich funkcí je ustavení obrobku před svařováním a jeho polohování při svařování vůči hořáku a směru svaru. Jejich největšího uplatnění lze nalézt při mechanizování a automatizování svařovacích linek malosériové a velkosériové výroby. Zpravidla se tak jedná o univerzální stroje a zařízení, které umožňují svařování rozmanitých výrobků. [17] [18]

Polohovadel a manipulátorů pro svařování válcových profilů obloukovým svařováním existuje celá řada. Níže je uvedeno jejich základní členění.

- **Stolová polohovadla**

Stolová polohovadla jsou určena pro ruční i strojní svařování malých dílců a opravy vad svarů. Upínací deska polohovadla umožňuje otáčení kolem své osy a její naklápění. Tímto je zajištěno nutné natočení svařovaných součástí ve všech třech osách. Na obr.7 a) je možné vidět příklad stolového polohovadla. [18]

- **Kladková polohovadla**

Kladková polohovadla se používají při svařování rozměrnějších válcových dílců, kotlů nebo nádrží. Polohovadla umožňují otáčení pouze vůči ose

svařovaného dílce, které je zajištěno pomocí lóže s otáčecími kladky, v nichž je válcový dílec usazen. Na obr.7 b) je možné vidět příklad kladkového polohovadla. [18]

- **Rotační koníkové polohovadlo**

Jedná se o dvě rotační polohovadla zrcadlově otočená, která tak jako kladková polohovadla, umožňují utáčení válcovým svařencem vůči jeho ose. Upínání svařenců je zajištěno pomocí upínacích desek polohovadel nebo sklíčidly, které mohou být buď na jednom nebo na obou polohovadlech. V případě upínání svařence pouze na jednom z polohovadel, bývá zpravidla druhé polohovadlo vybaveno středícím trnem. Jejich použití je pro menší válcové části a svařování trubek. Na obr. 7 c) je ukázka rotačního polohovadla s koníkovým uspořádání a upnutím svařence ve dvou protilehlých sklíčidlech. [17]

- **Stavebnicová polohovadla**

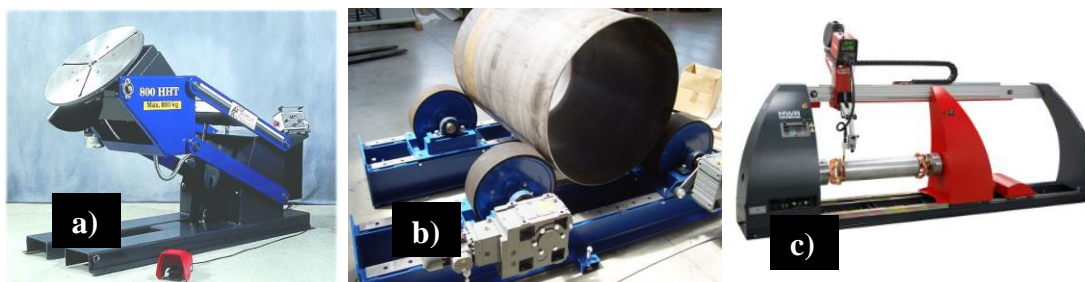
Mezi speciální polohovadla lze zařadit stavebnicové řešení polohovadel. Polohovadla se skládají z mnoha částí, které jsou možné v rychlém čase přestavět dle tvarů a rozměrů svařence a umožňují tak značnou rozmanitost vyráběných produktů. Stavebnicové řešení se uplatňuje především u stolových polohovadel, ale jejich aplikace lze vidět i u kladkových nebo jejich kombinací. [18]

- **Manipulátory**

Manipulátory jsou zařízení, která ustavují svařence do vhodné polohy před svařováním a také zařízení, která manipulují svařovacím hořákem v průběhu svařování. Manipulátory svařenců se zpravidla konstrukcí neliší od polohovadel, ale jejich použitím a funkcí. Na rozdíl od polohovadla, je manipulátor po ustavení svařence v klidu a svařování a poloha hořáku je zajištěna svařovacím robotem nebo manipulátorem hořáku. Jednou z dalších aplikací manipulátoru mohou také být manipulátory přídavného materiálu. [17]

- **Nosné manipulační konstrukce**

Stojanové nosné manipulační konstrukce svařovacích automatů jsou speciální případy manipulátorů hořáků pro svařování rozměrných konstrukcí v těžko dostupných místech. Mají podobu vozíků s pohybem po kolejnicích, jejichž součástí je také svářecí zdroj. Manipulaci hořáku pak zajišťuje několik ramen. Hojně se manipulačních konstrukcí využívá ve spolupráci s polohovadly. [18]



Obr. 7) Polohovadlo a) Stolové [19]; b) Kladkové [20]; c) Rotační koníkové [21]



## 2.3 Jiné metody svařování a upínání trubek

Metod svařování obvodových svárů trubek, ať už tupých spojů typu trubka-trubka nebo přivaření přírub a dalších částí, existuje celá řada. Podle druhu metody a použitelnosti jsou závislé upínací přípravky a další dílčí části ustavení a fixace svařenců.

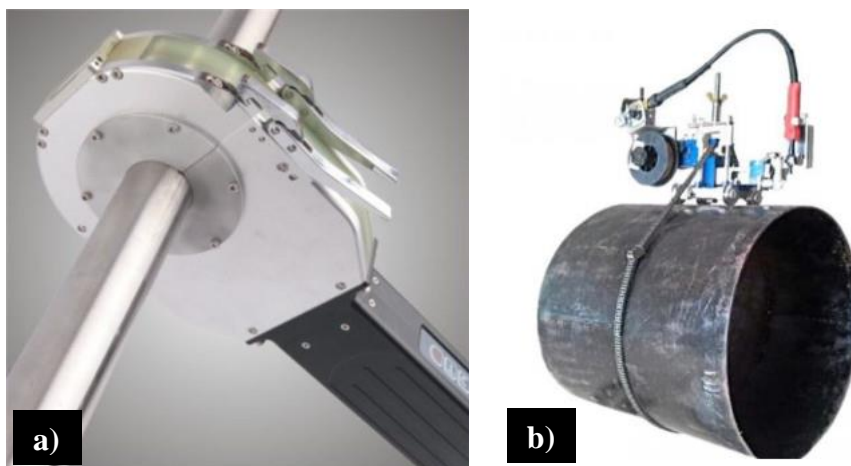
Níže jsou uvedené nejzajímavější příklady svařování trubkových obvodových svárů.

### Orbitální svářečky

Orbitální svařování orbitálními svářečkami je nejpoužívanější způsob svařování tupých spojů menších válcových nádob a trubek. Jejich značnou výhodou jsou malé rozměry a možnosti využití svařování trubek přímo v místě stavebních prací. Orbitální svářečky jsou nejčastěji vybavené hořáky metody MIG nebo TIG. Jsou vhodné především pro svařování tenkostěnných materiálů. Existují dva druhy upnutí a svaření pomocí orbitálních svářeček.

V první řadě se tak jedná o svářečky, které mají upínací hlavy požadovaných průměrů nebo jejich blízkého rozmezí. Jak je z obr. 8 a) patrné, upínací hlavy mají tvar podobný kruhových čelistí. Svaření trubkového spoje pak může probíhat buď za pohybu celé orbitální svářečky kolem součásti, nebo pouhého pohybu hořáku uvnitř čelistí.

Druhý způsob upínání orbitálních svářeček je za pomoci řetězu, nebo jiného posuvného pásu s mechanismem umožňující posuv kolem součásti (obr.8 b)). Tento způsob je využíván pro rozměrnější válcové nádoby, nebo větší rozmanitosti průměrů trubkových částí. V tomto případě je svařování docíleno pohybem orbitální svářečky po obvodě sváru.

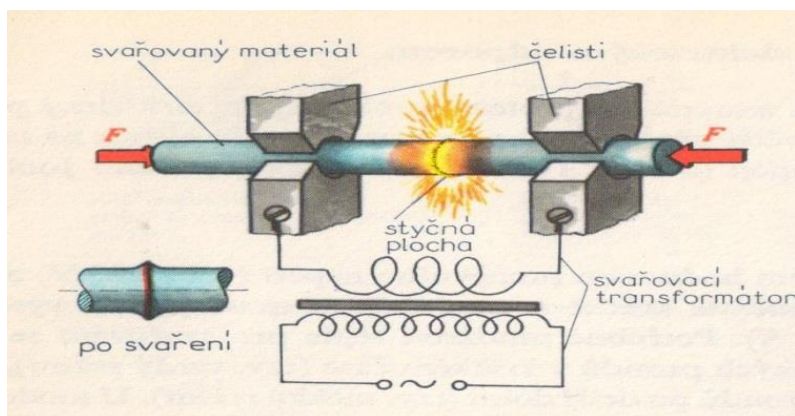


Obr. 8) Orbitální svářečky a) Čelist'ová [22]; b) Řetězová [23]

### Odporové svařování

Odporové svařování probíhá za pomoci elektrického odporu a tlaku součástí vůči sobě. Jak je z obr.9 patrné, součásti jsou upnuty do čelistí, do kterých je přiveden střídavý proud. Čelisti dále působí silou vůči sobě a přitlačují materiál do místa sváru.

Hlavní výhodou odporového svařování je svaření součástí o velkých tloušťkách. Tato metoda není ale použitelná pro tenkostěnné součásti. Svařované díly pak musí být z materiálů s vysokou vodivostí.

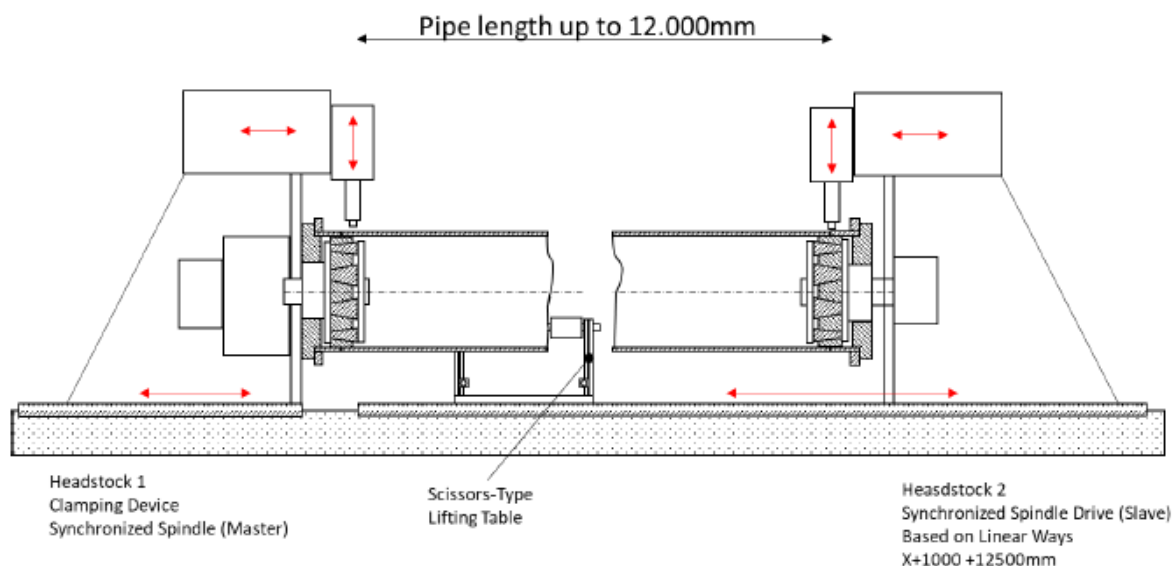


Obr. 9) Odporové svařování [24]

### FSW

Metoda svařování pomocí třecího promíšení (Friction Stir Welding- FSW) je poměrně mladá metoda, vyvinutá v 90. letech 20. století. Svařování probíhá pomocí rotujícího pinu, který vlivem tření a tlakem na svařovanou součást, promíchá oba spojované materiály. Upnutí při svařování trubek pomocí třecího promíšení je vnitřní, kde je požadavkem, aby upnutí bylo oporou po celém obvodu sváru. Upnutí musí být dostatečně tuhé, aby odolávalo silám, které vytváří vřetenem rotujícího pinu vůči součásti. Jak je z obr. 10 patrné, vnitřní upnutí pro dostatečnou oporu může mít tvar protilehlých trojúhelníkových čelistí, které plní funkci podobnou rozpínacímu trnu kleštinových sklíčidel.

Značnou výhodou při svařování třecím promíšením jsou pevné svarové spoje a minimalizaci tepelného zatížení součástí (více v kap.4)



Obr. 10) FSW [25]

### 3 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI ABB

Společnost ABB je přední švédsko – švýcarská nadnárodní korporace působící v oblasti energetiky a automatizace se sídlem ve švýcarském Curychu, která vznikla v roce 1988 spojením dvou nejznámějších evropských společností v oblasti elektrotechniky, švédské společnosti Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget (ASEA) a švýcarské Brown, Boveri & Cie (BBC), jejichž zaměření v oblasti elektrotechniky má více než 130 let trvající tradici. Její úspěchy v inovaci lze přičinit silným zaměřením v oblasti výzkumu a vývoje, kde má společnost ABB sedm vývojových center po celém světě. V dnešní době společnost ABB zaměstnává více než 136.000 lidí ve více než 100 zemích světa. [26] [27]

Struktura společnosti ABB je organizačně rozdělena do pěti globálních divizí, jímž jsou: Elektronické výrobky, Robotika a diskrétní automatizace, Pohony, Průmyslová automatizace a Energetika. [28]

První společnost ABB byla v České republice založená v roce 1992 a v současné době se svými sedmi výrobními závody a dalšími inženýrskými a výzkumnými centry, zaměstnává v osmi lokalitách České republiky více než 3400 zaměstnanců. [27]

#### 3.1 Jednotka ABB PGHV Brno

ABB PGHV (Power Grids High Voltage) v Brně je organizační jednotka v oblasti Energetiky pro výrobu komponentů plynem izolovaných rozvodů a zapouzdřených vodičů pro velmi vysoká napětí. Produkce komponent začala již v roce 2007 v areálu ABB Brno - Vídeňská a v roce 2014 ABB PGHV otevřela nový závod v Brně Slatině (obr.11) o celkové rozloze 12.500 m<sup>2</sup>, jehož součástí jsou oddělení řízení dodavatelského řetězce, inženýrské centrum, svařovna, prášková lakovací linka, montáž a testovací laboratoř, ve které je možné testovat produkty až do napěťové hladiny 760 kV. [29] [30] [31]



Obr. 11) Výrobní závod ABB PGHV Brno – Slatina [32]

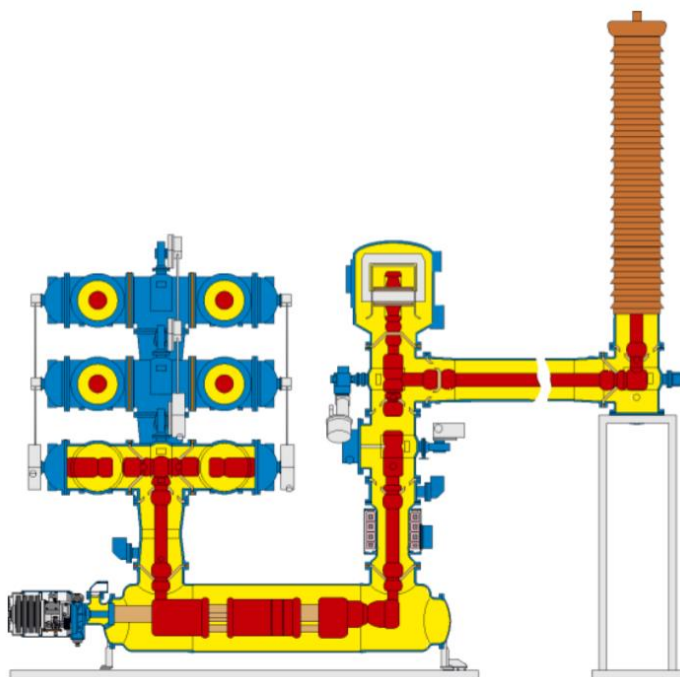
Výrobní závod ABB PGHV v Brně v současnosti zaměstnává kolem 300 lidí a jeho produkce je zaměřená jak na zapouzdřené vodiče se třemi fázemi v jednom pouzdře od napětí 72,5 kV do 170 kV (obr.12), tak i zapouzdřené vodiče s každou fází zvlášť od napětí 145 kV do 550 kV. Jmenovitý proud vyráběných zapouzdřených vodičů je maximálně do 6,3 kA. Celá výrobní linka je navržena pro výrobu montážních jednotek o celkové délce 12m.



Obr. 12) Třífázový zapouzdřený vodič

### 3.1.1 Plynem izolované rozvodny

Plynem izolované rozvodny (Gas Insulated Switchgear – GIS) jsou jisticím a ovládacím prvkem sítě přenosové a distribuční elektrické energie, který obsahuje všechny prvky nutné k zabezpečení a regulaci přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti. Dílčími částmi plynem izolovaných rozvodů jsou spínací prvky, transformátory, kabelové přípojky, odpojovače a odpínače, zkratové ochrany, přepět'ové ochrany, kompenzační prvky, kontakty a vodiče, které jsou zapouzdřené v plynotěsných pouzdrech, kde izolaci tvoří technický plyn hexafluorid síry – SF<sub>6</sub> (viz. obrázek 13).



Obr. 13) Řez plynem izolované rozvodny [33]



Vysoké napětí u vzduchem izolovaných rozveden představuje problém s izolací. Běžné přeskokové vzdálenosti při napětí v řádech stovek kV jsou i více než jeden metr a pro bezpečný provoz jsou definovány mnohem větší vzdálenosti. To způsobuje, že pole rozvodny mohou mít i několik hektarů. Rozlehlost může být v některých situacích nežádoucí, zvláště co se týká moderních městských aglomerací s vysokou hustotou zástavby. Pro snížení instalačního objemu svou výhodou uplatňují plynem izolované rozvodny.

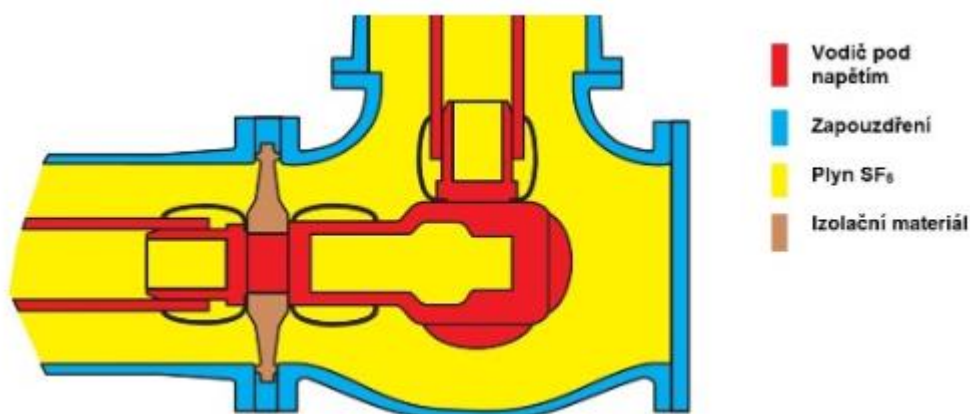
Plynem izolované rozvodny jsou nákladnější než vzduchem izolované rozvodny, ale poskytují kromě menšího instalačního objemu mnohé další výhody. Jednou z výhod jsou delší intervaly údržby, větší spolehlivost přenosu, větší proudová zatížitelnost a v neposlední řadě bezpečnost. Zapouzdrěné vodiče jsou mnohdy také vhodnější řešením pro přenos a distribuci elektrické energie na větší vzdálenosti, kde mají obzvlášť svoje uplatnění v extrémních venkovních podmínkách. Na obr.14 je vidět zapouzdrěná rozvodna společnosti ABB typu ELK-3/420 se jmenovitým napětím 420 kV a jmenovité proudy 3,5 kA transformovny Praha Chodov C.



Obr. 14) Zapouzdrěná rozvodna ABB typu ELK-3/420 [34]

### 3.1.2 Konstrukce a požadavky zapouzdrěných vodičů

Zapouzdrěné vodiče jsou dílčí částí plynem izolovaných rozveden. Jak je z obr.15 patrné, hlavní části jsou hliníkové vodiče, které jsou pomocí kontaktních systémů uchycené na izolátorech uvnitř pouzdra. Kontaktní systémy umožňují nejen vedení v přímém směru, ale také jejich odbočení nebo rozbočení. Izolátory, v nichž jsou kontaktní systémy uchycené, mohou být řešené jako průchozí nebo uzavřené pro oddělení vnitřních plynových prostor. Izolátory jsou pak uchycené v přírubových spojích vnějšího hliníkového zapouzdrění, které se převážně skládá z přírubových trubkových pouzder a tvarových odlitků. Součástí vnějšího zapouzdrění jsou na patřičných místech senzory, které měří částečné výboje, senzory tlaku, napouštěcí ventily a další kontrolní a jistící prvky. Pro zamezení přeskoků mezi vodičem a obalem a také eliminaci částečných výbojů je zapouzdrění napuštěno technickým plynem SF<sub>6</sub>, který má vynikající izolační vlastnosti. Pouzdra jsou napuštěna plynem s přetlakem a zapouzdrěné vodiče jsou tak klasifikovány jako tlakové nádoby. Těsnost zapouzdrění zajišťují těsnící O-kroužky, které jsou vloženy v každém vnějším přírubovém spoji.



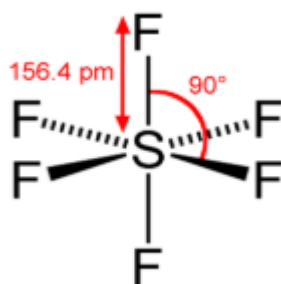
Obr. 15) Řez zapouzdřeným vodičem [35]

U plynem zapouzdřených vodičů jsou velmi vysoké požadavky na kvalitu. Jak je z obr.15 patrné. Hliníkový trubkový vodič je nasunut na kontaktní systém. Pro minimalizaci přechodového odporu je vnitřní část vodiče v místě spojení postříbřena. Vodiče ani kontaktní systémy nesmí mít žádné poškození na vnějším povrchu. Důležitá je také vnější struktura povrchu vodičů a kontaktních systémů a také vnitřní struktura povrchu zapouzdření, která při překročení tolerance může způsobovat částečné výboje nebo přeskoky. Přeskok z vodiče na zapouzdření může způsobit i drobná prachová částice, proto jsou plynem izolované vodiče sestavovány v bezprašném prostředí montážní linky a důkladně kontrolovány. Jedná se o vodiče, na jejichž svařování je zaměřená bakalářská práce.

Vysoké požadavky jsou také na vnější zapouzdření. Veškeré těsnicí plochy jsou pečlivě kontrolovány pro zamezení možného úniku dielektrického plynu z plynového prostoru. Pouzdra dále nesmí obsahovat žádná vnější poškození, která by mohla narušit bezpečnost tlakové nádoby. Tato pouzdra jsou v současnosti svařována v oddělení svařovny ABB.

### 3.1.3 Izolační plyn

Technický plyn SF<sub>6</sub> – (hexa fluorid síry) (obr.16) je bezbarvý, netoxický, nehořlavý a nedýchátný inertní plyn, bez chuti a bez zápachu, jehož hmotnost je šestkrát větší než vzduch. Díky svým izolačním vlastnostem se využívá jako dielektrický plyn zapouzdřených rozveden. Jeho elektrická pevnost je v porovnání s jinými dielektrickými plyny nižší, avšak tyto plyny jsou velmi toxické, neboť mají mnohem vyšší bod varu a znemožňuje se tím jejich použití v extrémních venkovních podmínkách. Jednou z dalších výhod plynu SF<sub>6</sub> je kromě jeho dielektrických vlastností jeho rychlá rekombinace po hoření oblouku a jeho stálost, která je v řádech několika stovek let. [36] [37]



Obr. 16) SF<sub>6</sub> [36]

Plyn SF<sub>6</sub> je ale také velmi účinný skleníkový plyn s velmi vysokým potenciálem globálního oteplování. Jeho potenciál globálního oteplování je 22 800 krát vyšší než CO<sub>2</sub>. Při mezinárodní smlouvě o klimatických změnách v tzv. Kjótském protokole byl plyn SF<sub>6</sub> klasifikován, jako regulovaný plyn, kde jeho používání nebylo zakázáno, ale jeho limity úniku do ovzduší jsou přísně kontrolovány. [36] [37]

Vzhledem k jeho potenciálu skleníkového plynu jsou všechny vnější části zapouzdřených rozveden přísně kontrolovány a testovány.

### 3.2 Výrobní proces ABB PGHV Brno

Pro vyjasnění produkce závodu ABB v Brně a toku materiálu, přírubových pouzder a především vodičů je zde ve stručnosti popsán výrobní proces.

Výroba komponentů pro zapouzdřené rozvodny v závodě ABB je rozdělena do několika oddělení. V první fázi je veškerý vstupní materiál překontrolován oddělením Vstupní kontroly. Materiály jsou dále dle požadavků přerazdělovány do oddělení svařovny, lakovny a montáže, které zajišťuje oddělení logistiky.

#### Svařovna

Vstupním materiálem pro oddělení svařovny jsou odlitky přírub z hliníkových slitin a hliníkové extrudované trubkoviny. Svařovna tímto zajišťuje výrobu hliníkových přírubových pouzder dle daného portfolia a konstrukčního řešení. Svařené pouzdro je po otestování dále přemístěno do oddělení lakovny.

#### Lakovna

V práškové lakovací lince jsou lakovány veškeré vnější a vnitřní komponenty dle požadavků a výkresových dokumentací.

U vnějších obalů se tak především jedná o lakování vnějších obalů přírubových pouzder dodávaných oddělením svařovny, vnější a vnitřní lakování tvarových odlitků L, T nebo X a dalších prvků a dílů součástí vnějšího obalu.

Lakování vnitřních kontaktních dílů a jejich kritických částí je nutné za účelem sjednocení povrchů a eliminaci nekvality přenosu proudu, kde i drobná vada na povrchu materiálu v podobě škrábance, může mít za následek částečné výboje a přeskok proudu z kontaktních systémů a vedení na obal pouzdra. Jedná se především o díly, jejichž přeskoková vzdálenost je nejmenší k obalu.

U vnitřních dílů jsou na vnějším obalu lakovány vodiče, které jsou v požadovaných délkách a s vnitřním postříbřením dodávány již přímo dodavatelem, kontaktní systémy v tvarových odlitcích, stínění a další.

Na obr.17 je možné vidět lakované bílé pouzdro a lakovaný růžový vodič, připravené pro jejich montáž. Tato pouzdra jsou současným produktem svařovny a vodiče plánovaným.

### Montáž

Oddělení montáže kompletuje jednotlivé části v montážní celky dle výkresových dokumentací jednotlivých montážních jednotek. Vstup materiálu do oddělení montáže má tři hlavní toky. Jedná se o lakované pouzdra, vodiče, tvarové odlitky a další díly z oddělení lakovny, spojovací materiály a v poslední řadě nelakované vnitřní a vnější komponenty v podobě izolátorů, napouštěcích ventilů a dalších mnohých kontaktních, spojovacích a těsnících prvků.

### Testing

Na zkompletovaných jednotkách je prvně přeměřený přechodový odpor. Dále jsou tyto jednotky testovány plynotěsnou zkouškou na SF<sub>6</sub> a vysokonapětovou zkouškou, ve které se při zvýšeném napětí oproti nominální hodnotě výrobku vyhodnocují částečné výboje, případně přeskok. Pokud během testu dojde ke zvýšené úrovni částečných výbojů nebo přeskoku, je nutné místo lokalizovat a sjednat nápravu pro odstranění nekvality.

Celý výrobní proces a kvalita dílů je kontrolována mezioperační a výstupní kontrolou napříč všemi výrobními odděleními.

Jednotlivé montážní jednotky jsou po úspěšných testech expedovány na místo stavby, kde jsou dále s komponenty dodávanými dalšími jednotkami ABB kompletovány v jeden celek zapouzdrěné rozvodny.



Obr. 17) Lakované pouzdro s vodičem

### **3.3 Technologie oddělení svařovny**

V této kapitole bude podrobněji rozebráno technologické vybavení a výrobní proces oddělení svařovny. To hlavně z důvodu ilustrace a objasnění současného stavu používání a pro následné definování a určení požadavků s možnostmi pro konstrukční návrh upínacího zařízení pro svařování trubkových vodičů.

Produktem oddělení svařovny je pouzdro skládající se z každé strany z příruby hliníkové slitiny a extrudované hliníkové trubkoviny. Jedno pouzdro pak obsahuje dva svarové spoje. Stejně jako u ostatních výrobních oddělení, technologie svařovny je dimenzována pro výrobky až do délek 12m. Nejkratšími pouzdra jsou pak svařence z přírub bez trubkoviny,



jejichž délka závisí na daném portfoliu. Příklad výsledného svařeného přírubového pouzdra je možné vidět na obr.18.



Obr. 18) Přírubová pouzdra

Jak již bylo zmíněno v kap. 3.1.2., pouzdra zapouzdřených rozvodů jsou klasifikována jako tlakové nádoby a jejich výroba podléhá evropským normám CENELEC EN 50052, EN 50064 a EN 50069, pro plynem plněné kryty ze slitin hliníku vysokonapěťových spínacích a řídicích zařízení.

Pro dosažení kvality podléhající mezinárodním normám a požadavkům na tlakové nádoby, je oddělení svařovny vybaveno patřičnými technologiemi pro výrobu a kontrolu svařených pouzder.

V první řadě se tak jedná o přípravu materiálu před svařováním. Velký důraz je kladen na čistotu a kolmost řezu extrudovaných trubkovin a požadovaných délek řezů v tolerancích výkresu. Pracoviště svařovny je vybaveno sloupovou pásovou pilou s podavačem, kde jsou jednotlivé délky laserově zaměřovány a výsledný polotovár splňuje všechny požadavky.

Součástí předpřípravy materiálu je také opracování návarových hran a přírub a jejich zaleštění. Při přípravě návarových je také nutná kontrola čistoty, poškození a kontrola přítomnosti vměstků a pórů v oblasti návarové hrany.

Svařování pouzder je zajištěno dvěma svařovacími automatizacemi společnosti Fronius. Každá z automatizací je vybavena TIG svářecím zdrojem a rotačními polohovadly (více v kap. 4.1.)

Po svaření přírub k trubkovině vzniká kořen sváru uvnitř svarového spoje. Kořen sváru je z důvodu možných přeskoků v jeho místě nežádoucí, a je nutné jej odstranit. V závislosti na požadavcích kvality je kořen vyfrézován, vybroušen a následně i zaleštěn pro odstranění stop po brusivu.

Kontrola vad ve svarovém spoji probíhá prvně vizuální kontrolou a následně je svár prozářen rentgenovým zařízením s digitálním detektorem. Vyhodnocování vad ve sváru probíhá dle nejpřísnějšího stupně přípustnosti mezinárodní normy ISO 10042, ISO 10675 a ISO 6520-1.

Posledním krokem je kontrola tlakové nádoby tlakovou a těsnostní zkouškou ve vakuové komoře.

Při tlakové zkoušce je pouzdro vystaveno dvojnásobkem dimenzovaného přetlaku pouzdra ve vakuu. Tato hodnota odpovídá téměř trojnásobku nominálního tlaku napuštěného pouzdra inertním plynem SF<sub>6</sub>.

Vyhodnocení těsnostní zkoušky probíhá pomocí Qk metody. To znamená, že pouzdro je ve vakuové komoře napuštěno Heliem na dimenzovaný tlak a hmotnostní spektrometr vyhodnotí velikosti úniku. Na obr.19 je zařízení pro tlakovou a těsnostní zkoušku.

Poslední zkouškou jsou trhací zkoušky prasknutím. Tyto zkoušky se provádějí při jakékoliv změně materiálů, dodavatelů nebo nepatrné změně ve výkresové dokumentaci.



Obr. 19) Zařízení pro tlakovou a He – těsnostní zkoušku

## 4 SVAŘOVACÍ AUTOMATIZACE ABB

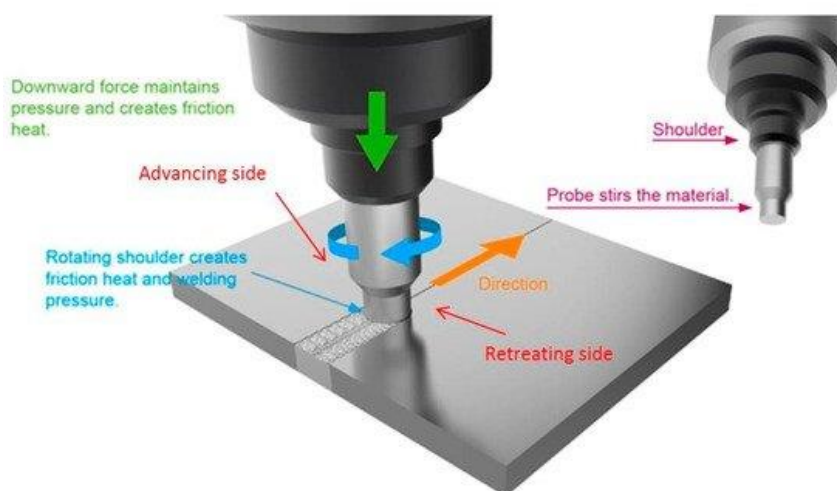
Úvodem této kapitoly je před podrobným rozбором stávající svařovací automatizace objasnění a zdůvodnění návrhu implementace upínacího zařízení pro trubkové vodiče.

Za účelem zvýšení produkce a kvality svárů bude v oddělení svařovny ABB PGHV Brno implementována technologie svařování třecím promíšením (FSW – Friction Stir Welding) viz obr. 20 princip funkce svařování metodou FSW. Strojní čas při svařování pouzdra pro zapouzdrěný vodič typu ELK-3/420 o průměru 400 mm je 16 minut na jeden svarový spoj jednoho ze dvou současných svařovacích automatů. Technologií FSW se strojní čas při svařování stejného typu pouzdra zkrátí na 4 minuty. Tímto je svařování na jednom zařízení metodou třecího promíšení dvojnásobně efektivnější než obě současné svařovací automatizace metodou TIG dohromady.

Svařování metodou třecího promíšení nepřináší pouze výhodu při zkrácení strojních časů a zvýšení produkce, značnou výhodou jsou také zvýšení bezpečnosti a kvality svárů.

Hlavními výhodami svařování metodou FSW oproti obloukovému svařování jsou:

- Až čtyřnásobně rychlejší doba svařování jednoho sváru
- Odpadá použití přídavných materiálů pro vyplnění svarového spoje
- Není zapotřebí ochranné atmosféry při svařování – u metody TIG Argon
- Při svařování není překročena teplota tání Hliníku
- Svarový spoj je pevnější než u obloukového svařování
- Nedochází k tepelnému ovlivnění kolem svarového spoje a degradaci materiálu
- Není nutné začišťování povrchů od Oxidu Hlinitého
- Nedochází k tepelné zátěži operátora během svařování
- Nedochází k produkci výparů při svařování
- Nedochází k záření lidem ohrožující zdraví
- Nedochází k zaplňování sváru póry vodíku
- Minimalizace se vad ve svarovém spoji
- Rozmělnění oxidických a pevných vměstků ve svarovém spoji
- Jednoduchá obsluha zařízení



Obr. 20) Princip svařování třecím promíšením [38]

Technologie metodou třecího promíšení bude tímto kompletně nahrazena svařování pouzder současnými dvěma svařovacími automatizacemi metodou TIG.

Požadavkem společnosti ABB je zachování stávajících svařovacích automatizací a jejich využití pro svařování vodičů. Projekt implementace svařování vodičů tak bude probíhat paralelně se zaváděním technologie FSW.

Vodiče pro pouzdra jsou v současnosti dodavateli dodávány v jednom celku v požadovaných délkách, s již vnitřně postříbřenými konci (viz obr.21). Postup výroby svařovaných vodičů bude obdobný s postupem svařování pouzder. Vodič bude svařený ze tří částí, kde mezi krajní postříbřené části bude vložený prostřední, který bude zkrácen na požadovanou délku.

Hlavním důvodem svařování vodičů není pouze využití stávajících technologií. Dalším významným důvodem svařování vodičů je především kvalita a cena postříbření. Krátké krajní části a krátké vodiče jsou stříbřeny v lázních a jejich kvalita stříbra a jeho adheze na povrchu vodiče vysoce kvalitní. Dále je možné na jednom závěsu stříbřit až desítky krátkých částí vodičů současně, což má značný vliv na cenu postříbření.

Oproti krátkým, jsou dlouhé vodiče stříbřeny tampónovou metodou. Cena postříbření jednoho dlouhého vodiče je při srovnání s krátkým mnohonásobně vyšší. Kvalita stříbření tampónovou metodou oproti metodě v lázních není nižší, avšak vlivem tzv. komínového efektu při stříbření dlouhých částí může dojít k nižší adhezi stříbra na povrchu. Při nízké adhezi stříbrného povlaku tak hrozí odlupování vrstev stříbra a tím i nekvalita přenosu elektrické energie, zvýšení přechodového odporu mezi vodičem a vnitřním kontaktním systémem a ulpívání částic v plynovém prostoru zapouzdření s možností způsobení přeskočení. Stříbrné plochy jsou totiž během provozu značně namáhány vlivem pohybu kontaktních systémů a dilatací vodičů. Z těchto důvodů je před vstupem materiálu do výroby nutné provádět odtrhové testy, kde již v minulosti bylo odhaleno a reklamováno dodavatelům mnoho nekvalit.

Jedním z posledních důvodů je také rychlá reakce a výroba vodičů při plánování a výrobě zakázek a také při výrobě náhrad, kde v případě dodavatelů bývá termín dodání v řádech několika týdnů.



Obr. 21) Hliníkové trubkové vodiče

#### 4.1 Stávající svařovací automatizace metody TIG

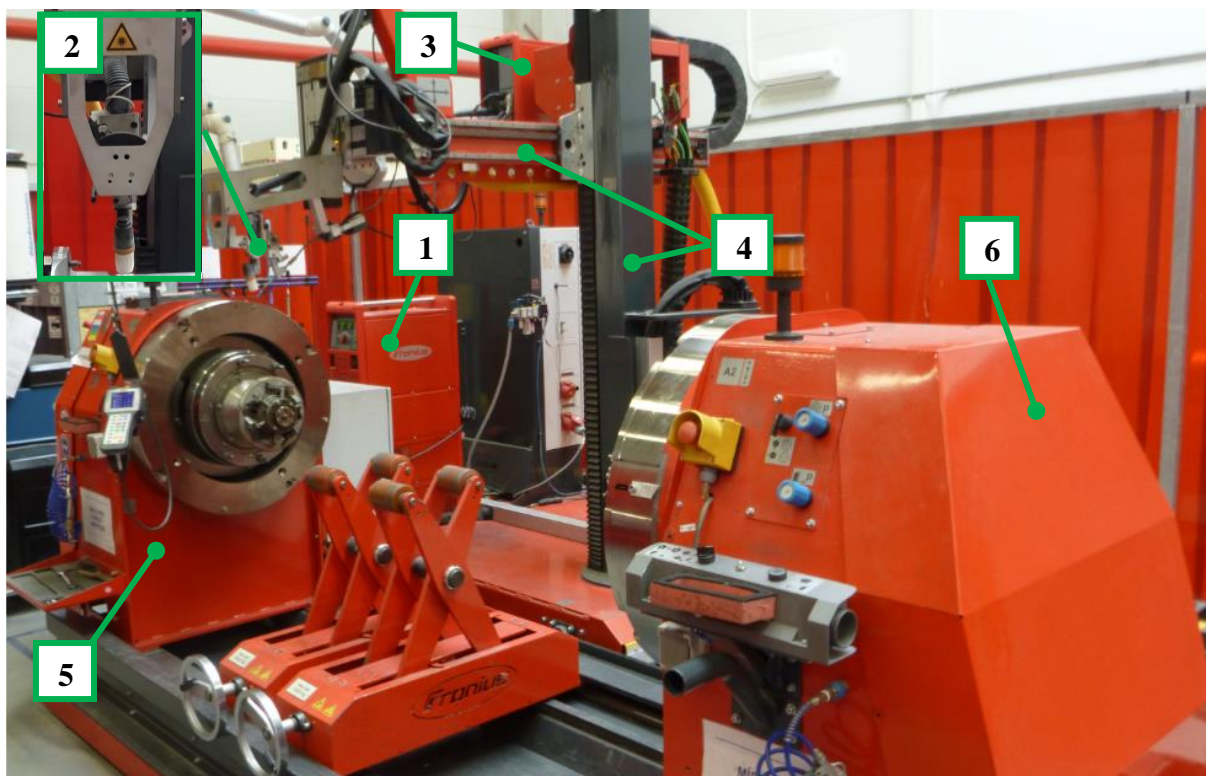
Kompletní svařovací automatizace pro ABB PGHV Brno byla vybavená společností Fronius. Její součástí je svařovací zdroj MAGIC Wave 5000 s možností svařování střídavým proudem



(obr.22 poz.1), který je společně s TIG hořákem s wolframovou elektrodou (obr.22 poz.2) vhodnou metodou při obloukovém svařování hliníku a jeho slitin. Střídavý proud totiž umožňuje čistící efekt zoxidovaného povrchu oxidu hlinitého, kde při kladné půlvlně je rozrušena zoxidovaná vrstva a záporné půlvlně dochází k vytvoření tavné lázně a provaření součástí. Teplota tání hliníku je v závislosti na slitině okolo 660° C a teplota tání oxidu hlinitého 2072°C. Rychlost vytvoření oxidu hlinitého na površích součástí je prakticky v rámci několika minut a zabraňuje tímto pevnému spojení a provaření obou součástí. Dalšími metodami jsou svařování stejnosměrným proudem se zdroji umožňující pulsaci a synergický program, vybavenými buď MIG nebo TIG hořáky, avšak nedosahují takových kvalit sváru a jejich provaření součástí jako v porovnání s metodou TIG se střídavým proudem. [39]

TIG hořák s vnitřním vodním chlazením je včetně podavače přídatného drátu (obr.22 poz.3) uchycený na rameni manipulátoru s možnostmi translačních pohybů ve třech osách (obr.22 poz.4). Držák hořáku a vyústění přídatného drátu jsou dovybaveny mechanismem, kde je možné ručně hořák a přídatný drát dle potřeby napolohovat a natočit vůči svařenci.

Svařovací automatizace je dále vybavena dvěma protilehlými otočnými polohovadly v koníkovém uspořádání, kde jedno z polohovadel je fixní (obr.22 poz.5) a druhé posuvné (obr.22 poz.6). Pohyb posuvného koníkového polohovadla po jeho lineárním vedení je ovládán ručně a po jeho uzamčení v poloze délky svařence je za pomoci dvojčinného pneumatického válce přitisknuto v axiálním směru vůči svařenci a protilehlému fixnímu polohovadlu. Polohovadla umožňují pouze rotaci svařence v jeho ose bez možnosti naklápění. Otáčení otočí každého z polohovadel zajišťují dva krokové motory, jejichž vzájemný chod mezi polohovadly je kontrolován a řízen snímacími senzory, které zabráňují pootočení přírub výsledného svařence o více jak 0,3° vůči sobě.



Obr. 22) Svařovací automatizace Fronius

### Legenda k obr.22

- Poz.1 – Svářecí zdroj
- Poz.2 – Hořák TIG
- Poz.3 – Podavač drátu
- Poz.4 – Manipulátor hořáku typu TTT
- Poz.5 – Fixní polohovadlo
- Poz.5 – Posuvné polohovadlo

Celá svařovací automatizace je pak dovybavena plně programovatelným ovládacím pultem s dálkovým ovládáním (obr.23 poz.1 a 2). Ovládací pult umožňuje vytvoření celého programu daného svařovacího procesu, který je možné rozdělit do potřebných segmentů v průběhu svařování. Jednotlivé segmenty programu zahrnují programování svařovacích proudů, rychlost podávání přídatného drátu, polohy hořáku, ale také směr a rychlost otočí polohovadel a délky svarů jednotlivých segmentů, což umožňuje i plynulé přechody svařování při více vrstvách.

Vzhledem k různé kvalitě přírub a trubkovin z hliníkových odlitků a slitin a celkové problematice při svařování hliníku, je nutná kontrola svarové lázně a průběhu svařování operátorem zařízení. Z tohoto důvodu je řídicí panel dovybaven dálkovým ovládáním, kde operátor může v průběhu procesu svařování upravit jednotlivé parametry. Zpravidla se tak jedná o úpravu svařovacích proudů, rychlosti otáčení polohovadel, rychlosti podávání drátu, ale také polohy hořáku a jeho oscilaci, jejíž funkce se využívá při svařování krycích vrstev.



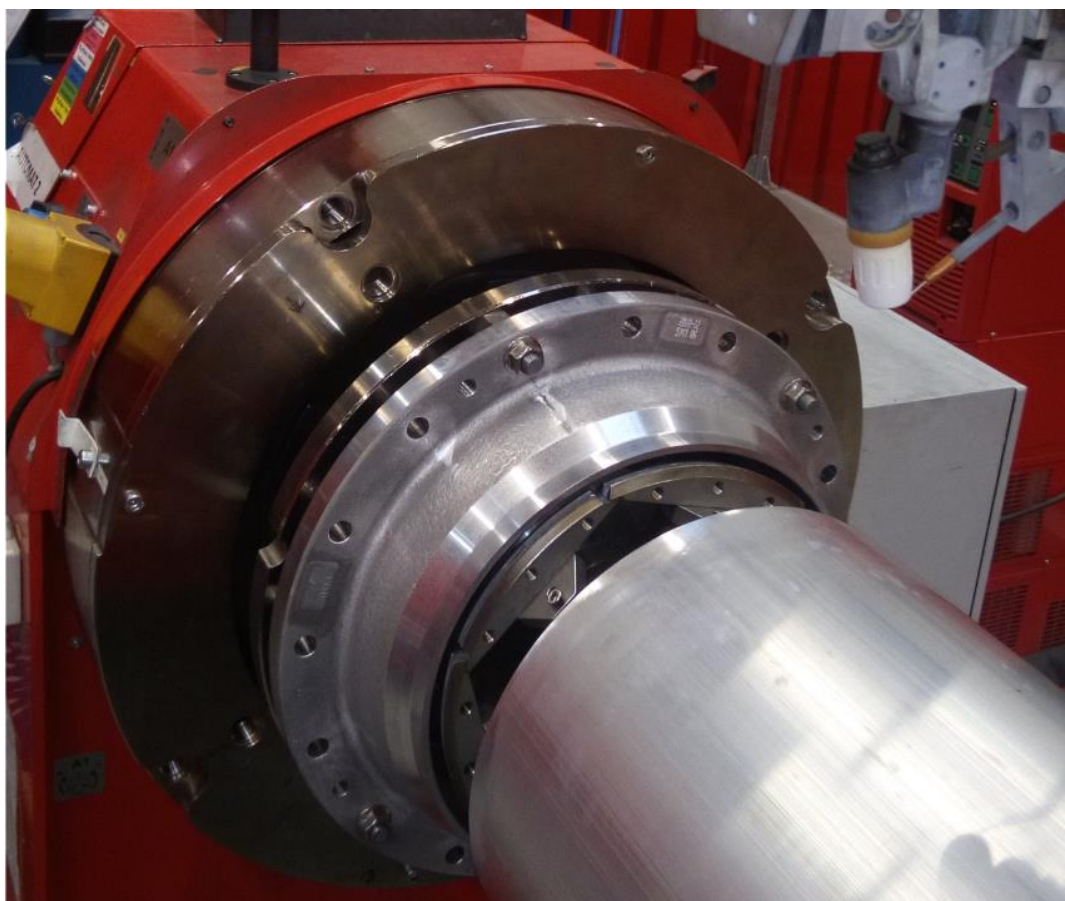
Obr. 23) Ovládání svařovací automatizace (1-Ovládací pult, 2-Dálkové ovládání)

## 4.2 Způsob upínání svařovaných částí

Stávající automatizace a její upínání svařovaných částí je navržena pro produkci pěti různých typů rozvoden a jejich pouzder pro zapouzdrěné vodiče v rozmezí od 240 mm do 512 mm jejich vnitřních průměrů. Každé z těchto pěti druhů průměrů pouzder daného typu rozvodny je pak konfigurované výběrem z dalších dvou až tří druhů přírub odlišných rozměrů v závislosti na dané aplikaci a projektové a výkresové dokumentaci. Výsledným produktem je tak celkem 13 typů pouzder o pěti různých průměrech a délkách od 30 cm do 12 m.

V následujících krocích je popsán postup upínání jednotlivých částí svařence před svařováním.

V první části se tak jedná o uchycení přírub na polohovadlech. Otoče polohovadel jsou vybaveny vyměnitelnými kroužky se čtyřmi upínacími šrouby, jejichž zakončení má kromě závitu také dosedací plochu a středící dřík pro díru v přírubě. Takto je dosaženo usazení přírub v kolmém směru a v ose vůči polohovadlu a trubkovině. Kroužky včetně upínacích šroubů jsou měněné dle daného typu příruby. Příruby na obou polohovadlech jsou po nasazení na středící dříky upínacích šroubů utaženy maticemi na předepsaný moment. Na obr.24 je možné vidět usazenou přírubu na polohovadle pro pouzdro typu rozvodny ELK-3/420 o vnitřním průměru 400 mm. Takto upnutá příruba je přes upínací šrouby a kroužky uzemněna.



Obr. 24) Usazená příruba na polohovadle pro pouzdro ELK-3/420

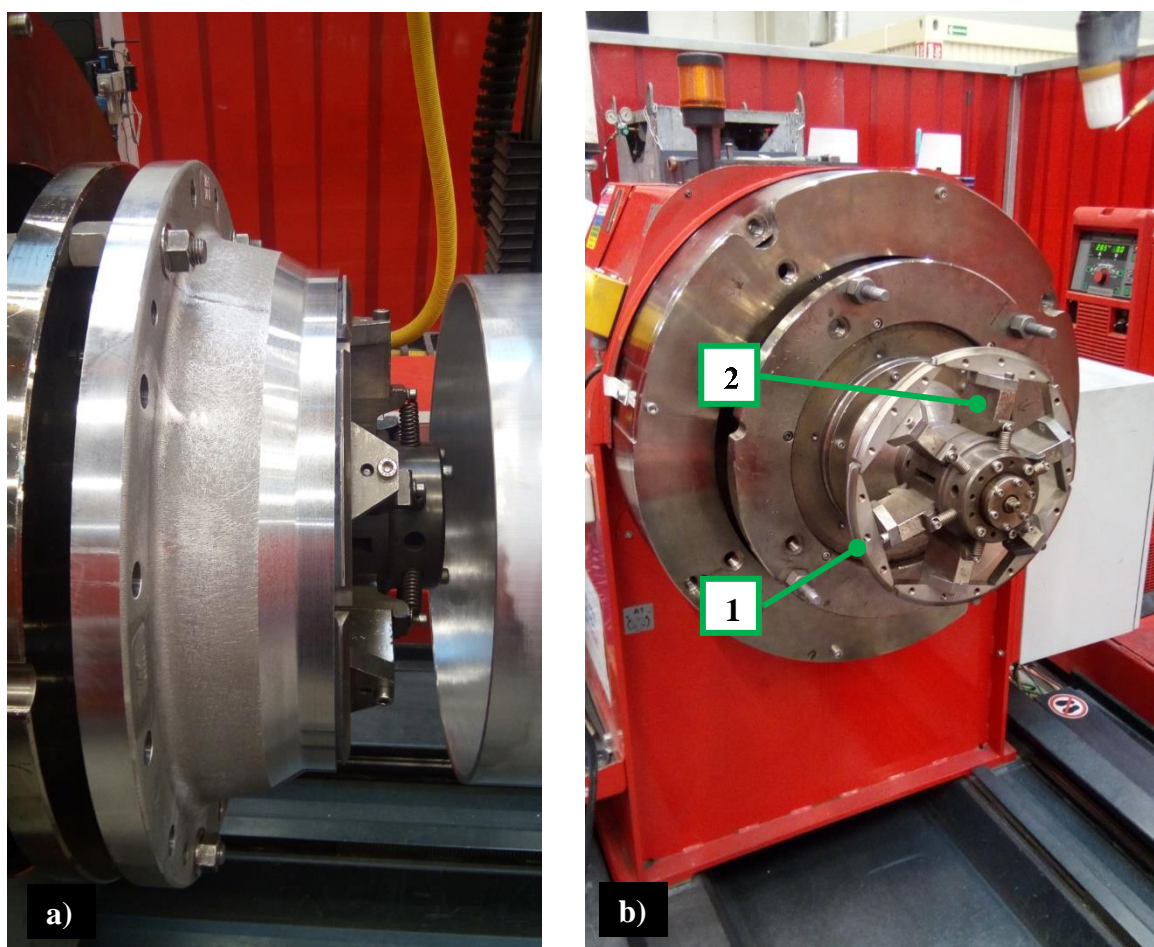
Po uchycení přírub na obou polohovadlech je usazena trubkovina na dvě výškově stavitelné podpěry, které plní pouze pomocnou funkci při sestavování dílů svařence a jeho odepnutí po svařování. Pomocí výškově stavitelných podpěr je trubkovina ustavena do osy



rotace a následně je celek přitisknut k sobě posuvným polohovadlem pomocí pneumatického dvojčinného válce. Stavitelné podpěry jsou po přitlačení součástí odlehčeny, aby mohlo dojít k vycentrování trubkoviny vůči přírubám a ose otoče polohovadla.

Zafixování trubkoviny a její vycentrování vůči přírubám je umožněno pomocí vnitřního rozpínacího mechanismu polohovadla, jehož součástí jsou vyměnitelné segmentové svarové podložky kopírující vnitřní rádius. Svarové podložky svojí plochou dosedají na obě svařované části a tím je zaručeno vycentrování a fixace obou částí vůči sobě. Díky této fixaci a také díky minimálním průhybům trubkoviny, není nutné užití rotačních podpěr ani lunet ve středu svařence v průběhu svařování.

Svarové podložky neplní pouze funkci fixace a správného ustavení částí vůči sobě. V jejich středu po celém obvodu je půlkruhová drážka, která umožňuje správného vytvarování kořene sváru. Drážka je v přesné pozici styku obou materiálů. Podrží provařený základní a přídavný materiál ve svém tvaru a zamezí jeho většímu propadávání uvnitř pouzdra. Takto dojde k zaručenému provaření obou materiálů a jejich natavení vnitřních hran. Jednou z dalších výhod svarových podložek je také odvod tepla z místa svařování a uzemnění svařence v dalším místě. Na obr. 25 a) jsou zobrazeny svarové podložky na rozpínacím trnu před upnutím trubkoviny.



Obr. 25) Svarové podložky a) Před upnutím; b) Před ustavením částí (1-Svarová podložka, 2-Distanční držák)



Aby bylo dosaženo správného užití funkce, každému z pěti druhů svařovaných pouzder náleží patřičné svarové podložky, jejichž radius na jednotlivých segmentech odpovídá průměru daného pouzdra. Jednotlivé druhy svarových podložek mají také odlišné drážky pro kořen sváru, které svým tvarem a hloubkou odpovídají tloušťce trubkoviny.

Spolu s výměnou svarových podložek (obr.25 poz.1) pro daný průměr je také nutné měnit distanční mezikusy (obr.25 poz.2), jejichž funkcí je držákem svarové podložky a jejich velikost se mění v závislosti na druhu svarové podložky.

Výsledné svařování je pak rozděleno do dvou etap, kde po zavaření prvního spoje trubky s přírubou, je manipulátor hořáku přestaven pro svařování druhého spoje. Každý ze svarových spojů u všech typů zapouzdření je složen ze dvou vrstev. První vrstvou je kořenová a po otočení svařence na otočích polohovadel kolem celého svého obvodu následuje krycí vrstva s oscilačním kmitem hořáku kolem sváru.

### 4.3 Princip funkce rozpínacího mechanismu polohovadel

Jak je z obr.26 patrné, rozpínání svarových podložek je zajištěno pomocí pneumatického dvojčinného válce (poz.1), který je uvnitř krytování polohovadla fixně přichycený v ose rozpínacího mechanismu. Z pneumatického válce vystupuje hřídel zakončená vnějším metrickým závitem (poz.2), se kterou je spojena hřídel rozpínacího mechanismu (poz.3). Šroubové spojení obou hřídelů je zajištěno šestihrannou maticí. Hřídel pneumatického válce spolu s hřídelí rozpínacího mechanismu nerotují kolem své osy a jejich pohyb je pouze v axiálním směru (tah/tlak).

Konec hřídele rozpínacího mechanismu je osazen trnem se šesti unášecími drážky (poz.4), který při tažném pohybu hřídele pneumatického válce vytlačuje vodící kameny (poz.5) v kolmém směru od hřídele. Pohyb pouze v radiálním směru je zajištěný masivní vodící částí (poz.6). Na vodící kameny je dále přichycený distanční držák svarových podložek (poz.7).

Rotaci vodících kamenů společně s trnem vůči hřídeli umožňují dvě na hřídeli nalisovaná axiální jednosměrná ložiska (poz.8 a poz.9), která jsou vůči sobě vymezená dvěma KM maticemi (poz.10). Vodící kroužek vnějšího axiálního ložiska (poz.9) je pak dále nalisován do víka (poz.11) přichyceného k rozpínacímu trnu. Při tlačném pohybu pneumatického válce dochází k uvolnění upnutí a pohybu vodících kamenů v kolmém směru zpět k ose hřídele. Tento chod zajišťují tažné pružiny (poz.12), které jsou po obou stranách vodícího kamene přichycené šroubem s válcovou hlavou. Druhý konec tažných pružin je zajištěn válcovým kolíkem ve vodící části kamenů.

#### Legenda k obr.26

Poz.1 – Pneumatický válec Festo DNG-200-50-PPV-A-S2

Poz.2 – Hřídel pneumatického válce

Poz.3 – Hřídel rozpínacího mechanismu

Poz.4 – Rozpínací trn s unášecími drážkami

Poz.5 – Vodící kameny

Poz.6 – Vodící část kamenů

Poz.7 – Distanční držák svarových podložek

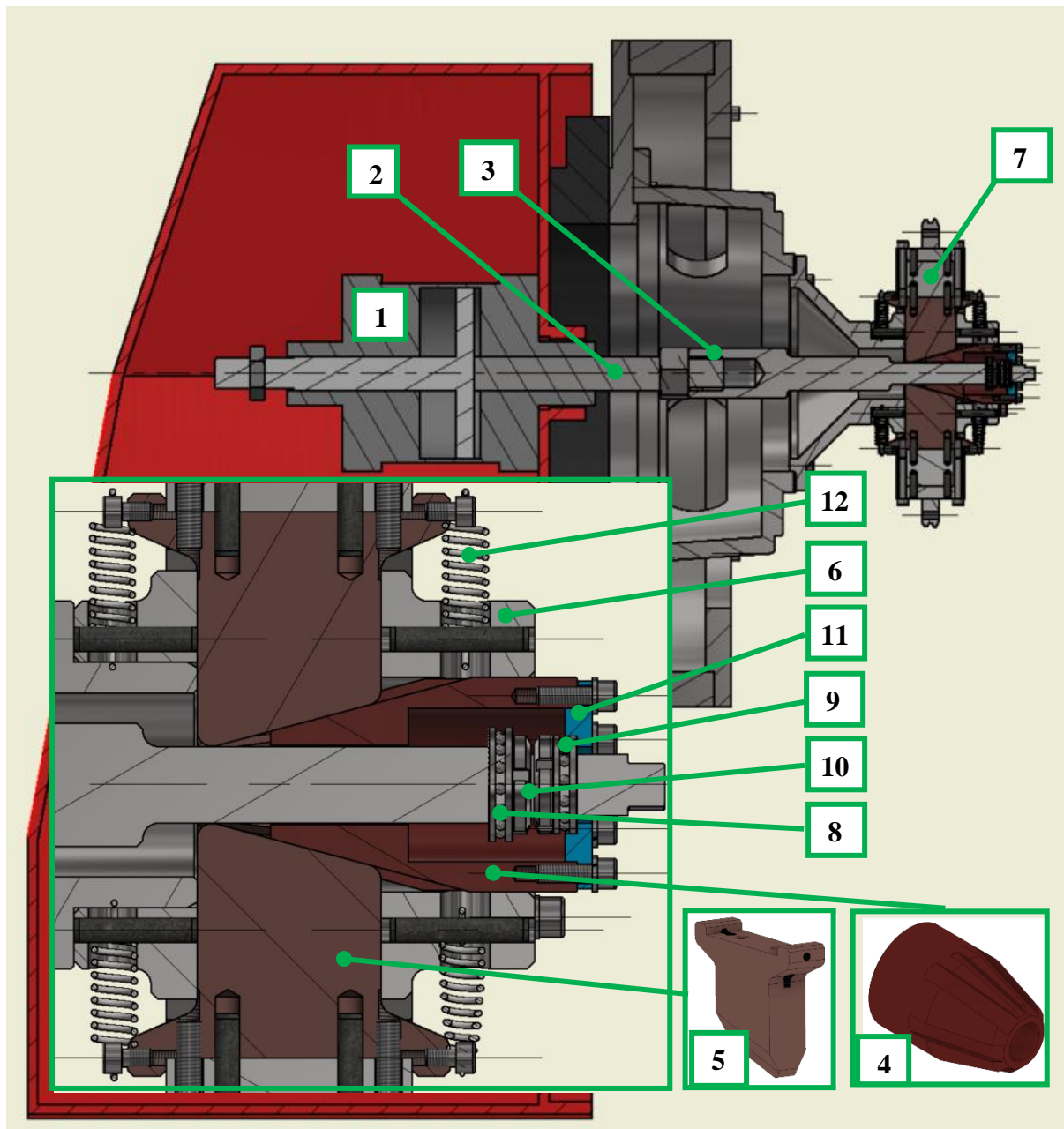
Poz.8 – Axiální ložisko 51004

Poz.9 – Axiální ložisko 51005

Poz.10 – Hřídelové matice KM 4

Poz.11 – Víko

Poz.12 – Tažné pružiny 17/07/1



Obr. 26) Rozpínací mechanismus polohovadel

## 4.4 Rozbor vybraných částí rozpínacího mechanismu

V této podkapitole budou podrobněji rozebrány stěžejní části rozpínacího mechanismu pro svařování pouzder zapouzdřených vodičů, které jsou také dílčími částmi pro konstrukční návrh rozpínacího mechanismu pro svařování trubkových vodičů. Na jednotlivé technické parametry a výsledky výpočtů bude při konstrukčním návrhu odkazováno.

### 4.4.1 Pneumatický válec

Pneumatický válec značky Festo: DNG-200-50-PPV-A-S2 (viz obr.26 poz.1)

- DNG – dvojčinný válec
- 200 – průměr pístu 200 mm
- 50 – zdvih 50 mm
- PPV – nastavitelné tlumení na obou stranách
- A – s čidly na válci pro snímání polohy
- S2 – Průchozí pístnice [40]

Dle technických parametrů z katalogu Festo pneumatického válce je délka chodu dvojčinného pístu 50 mm a jeho průměr 200 mm.

Vzhledem k dimenzování a návrhu jednotlivých součástí mechanismu pro trubkové vodiče je nutný výpočet maximálně dosažitelné síly pístu při maximálním tlaku rozvodů stlačeného vzduchu, který odpovídá 6 barů.

Tlak v pneumatickém válci je ve stávajícím upínacím zařízení redukován redukčním ventilem na 3,5 barů. Pro výpočet stávající upínací síly a redukování tlaku upínací síly pro trubkové vodiče, bude výpočet síly pístu korigován i pro tento tlak.

**Výpočet teoretické síly dvojčinného válce při tlaku 6 barů (600 kPa) rozvodů stlačeného vzduchu a průměru pístu 200 mm dle vztahu:**

$$F_{P_6} = P_6 \cdot S_p \text{ [kN]} \quad (1)$$

$$F_{P_6} = 600 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 18,85 \text{ kN}$$

**Výpočet teoretické síly dvojčinného válce při redukovaném tlaku 3,5 barů (350 kPa) rozvodů stlačeného vzduchu a průměru pístu 200 mm dle vztahu:**

$$F_{P_{3,5}} = P_{3,5} \cdot S_p \text{ [kN]} \quad (2)$$

$$F_{P_{3,5}} = 350 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 11 \text{ kN}$$

kde:  $F_p$  Síla pístu [kN]

$P$  Tlak rozvodů stlačeného vzduchu [kPa]

$S_p$  Plocha pístu [ $m^2$ ]

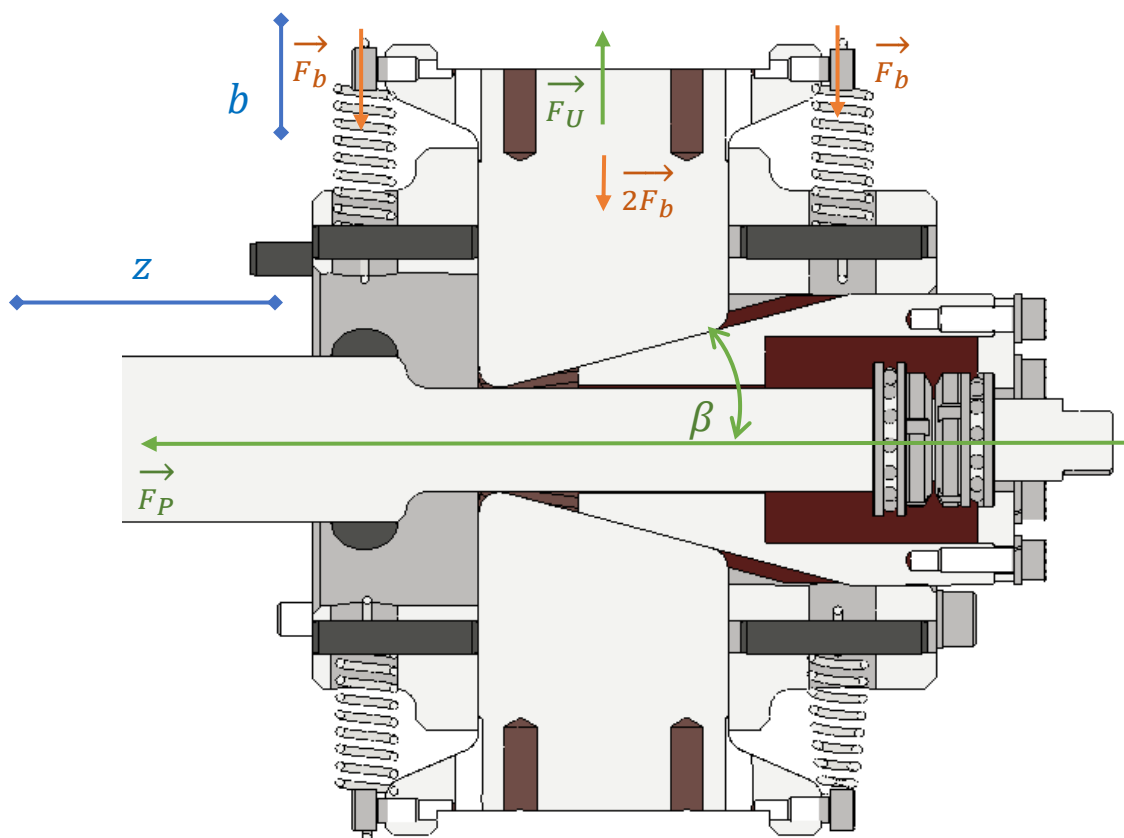
#### 4.4.2 Rozpínací trn

Rozpínací trn (obr.26 poz.4) je uložen ve vodící části kamenů (poz.6) s točným uložením s větší vůlí H7/e8. Jedná se tak o jediné uložení hřídele a jejich částí. Vzhledem k malým třecím silám tohoto uložení je hřídel rozpínacího mechanismu a hřídel pístu pneumatického válce minimálně namáhána na krut. Namáhání hřídele je tak pouze na tah/tlak.

Unášecí drážky rozpínacího trnu mají spolu se styčnou plochou vodícího kamene (obr.26 poz.5) úhel  $15^\circ$  vůči ose hřídele. Pro výpočet upínací síly je tak prvně nutné provést výpočet maximální výšky zdvihu vodících kamenů při zdvihu pneumatického válce 50 mm.

Dále bude výsledný výpočet upínací síly korigovaný výpočtem síly tažných pružin. Upínací síla bude také vypočtena pro jednu svarovou podložku z celkových šesti. Pro zjednodušení výpočtu budou vynechány třecí síly v mechanismu. Výsledná hodnota upínací síly je pouze orientační.

Upínací síla mechanismu pro trubkové vodiče by tak měla dosahovat podobné upínací síly s možností zvýšení regulovaného tlaku v případě potřeby



;

Obr. 27) Výpočet upínací síly mechanismu

**Výpočet výšky maximálního zdvihu vodících kamenů (dle obr.27):**

$$b = \operatorname{tg} \beta \cdot z \text{ [mm]} \quad (3)$$

$$b = \operatorname{tg} 15^\circ \cdot 50 = 13,4 \text{ mm}$$

kde:  $b$  Výška zdvihu jednoho kamene [mm]

$\beta$  Úhel styku kamenů a rozpínacího trnu [°]

$z$  Výška zdvihu pístu [mm]

### Výpočet síly pružin působících na jeden vodící kámen:

Vstupní parametry pružiny dle katalogu výrobce [41]:

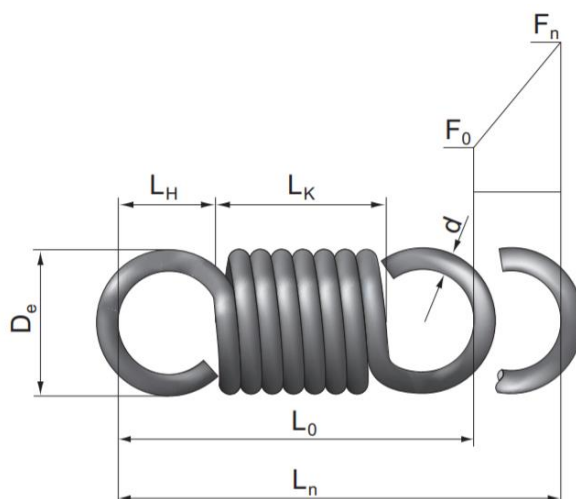
- Volná délka pružiny:  $L_0 = 45,5 \text{ mm}$
- Síla pružiny ve volném stavu:  $F_0 = 20 \text{ N}$
- Pracovní délka pružiny:  $L_n = 66,9 \text{ mm}$
- Síla pružiny v pracovním stavu:  $F_{np} = 178 \text{ N}$
- Tuhost pružiny  $R = 7,40 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

**Síla jedné pružiny působící při maximálním zdvihu kamene (obr.28):**

$$F_b = R \cdot b + F_0 \text{ [N]} \quad (4)$$

$$F_b = 7,4 \cdot 13,4 + 20 = 119,16 \text{ N}$$

kde:  $F_b$  Síla jedné pružiny při maximálním zdvihu kamene [N]



Obr. 28) Výpočet pružin [41]

### Výpočet výsledné upínací síly jednoho kamene ze šesti:

$$F_U = \frac{F_{P_{3,5}}}{6 \cdot \cos(90^\circ - \beta)} \cdot \cos(\beta) - 2 \cdot F_b \text{ [N]} \quad (5)$$

$$F_U = \frac{11\,000}{6 \cdot \cos(90^\circ - 15^\circ)} \cdot \cos(15^\circ) - 2 \cdot 119,16 = 6603,7 \text{ N}$$

kde:  $F_U$  Upínací síla při maximálním zdvihu kamene [N]

Výsledná upínací síla jednoho kamene je 6,6 kN. Dle této hodnoty je nutné dimenzovat upínací mechanismus pro trubkové vodiče.

#### 4.4.3 Výsledek rozboru mechanismu

Pro návrh upínacího mechanismu pro svařování trubkových vodičů bylo prvně nutné provést rozbor stávajícího. Jedná se tak především o výpočet maximálně dosažitelné síly pneumatického válce, kde její velikost je stěžejní pro dimenzování jednotlivých součástí. Dále byl proveden výpočet upínacích sil, jejichž hodnota je dostačující pro upnutí a vystředění obou součástí a zároveň nepřekračuje hodnotu, kdy dochází k poškození výrobku. Upínací síly v mechanismu pro trubkové vodiče a regulace tlaku pro pneumatický válec tak budou korigovány dle těchto hodnot.

Při rozboru stávajícího mechanismu bylo také nalezeno několik nedostatků, které je nutné vytknout. Jedná se tak především o uložení axiálního ložiska uvnitř rozpínacího trnu (obr.26 poz.4 a 8), které je díky absenci distančního kroužku náchylné k posunutí a poškození klecí kuliček. Posunutí ložiska také může znesnadnit jeho demontáž, kde nebude možné užití běžných stahovacích přípravků. Při rozboru trnu mechanismu bylo axiální ložisko v pozici dosedající na plochu KM matice tak, jak je možné vidět na obr.26 poz.8. Není zřejmá původní pozice ložiska, ale vzhledem k absenci distančního kroužku, je možné vyvodit, že ložisko bylo původně nalisováno na vnitřní dosedací plochu rozpínacího trnu a vlivem pohybu mechanismu stlačeno na pozici ke KM matici. Vhodným řešením je pak usazení ložiska u dosedací plochy KM matice a jeho vymezení distančním kroužkem vůči rozpínacímu trnu.

Vůle rozpínacího trnu vlivem posunutí ložiska také zapříčiní dosednutí částí vodících kamenů na hřídel mechanismu, jež je vlivem rotace a společného kontaktu poškozována a odírána.

Dále je z obr.26 patrné, že opěrný kroužek ložiska (poz.8) není nalisován uvnitř rozpínacího trnu. Vystředění trnu vůči hřídeli je tak dosaženo nalisovaným ložiskem uvnitř víka rozpínacího trnu (poz.9 a 11) a lze usoudit, že je to dostatečným řešením.

Je nutné také podotknout, že vzhledem k přítomnosti nalisovaných ložisek nebylo možné vnitřní části rozpínacího trnu řádně přeměřit. Vnitřní vůle rozpínacího trnu vůči axiálním ložiskům (obr.26 poz.4 a 8) jsou tak ve skutečnosti mnohem menší než je znázorněno na řezu modelu. Obrázek je tímto pouze informativní a rozměry vnitřních částí rozpínacího trnu nemají vliv pro návrh rozpínacího mechanismu pro trubkové vodiče.

V poslední řadě je nutné vytknout spoj tažných pružin s vodícími kameny (obr.26 poz.12 a 5), který je zajištěn pomocí šroubů s válcovou hlavou velikostí M5. Aby byly oka pružin zajištěna za válcovou hlavou šroubu je nutné, aby tyto šrouby nebyly zašroubovány v celé své délce a jejich hlavy byly předsazeny před osu tažných pružin. To má za následek namáhání šroubů na ohyb a jejich deformaci vlivem sil v tažných pružinách.

## 5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Návrh upínacího zařízení pro trubkové vodiče se zabývá konstrukčním řešením a modifikací jednotlivých částí na stávajících polohovadlech. Pro správnost a funkčnost celého mechanismu a jeho životnost je nutné splnit podmínky a požadavky upínacích nástrojů a zařízení, které se dále rozšiřují o požadavky upínacích nástrojů při obloukovém svařování.

Pro zachování kvality výrobku je také nutné splnit podmínky při samotném svařování a také podmínky kvality pro vysokonapětové vodiče s požadavky ze strany ABB, kde je kromě správného ustavení částí a zajištění kvalitního sváru, nutné volit materiály jednotlivých částí mechanismu, které jsou vhodné při odolávání tepelné zátěži obloukového svařování a zároveň nepoškodí výrobek a ani jej svým složením nedokáže kontaminovat.

V neposlední řadě je také nutný návrh jednotlivých součástí, materiálu a jejich zpracování s ohledem na cenu a návratnosti investice.

Návrh upínacího mechanismu pro trubkové vodiče lze rozdělit do čtyřech hlavních částí, jimiž jsou:

- Vstupní požadavky
- Upnutí a vycentrování na polohovadle
- Rozpínací mechanismus
- Svarové podložky

Jednotlivé části jsou v následujících podkapitolách podrobněji rozebrány. U konstrukčních návrhů jsou také uvedeny možné jednotlivé varianty s návrhem vybraného řešení.

### 5.1 Požadavky

Upínací zařízení je navrženo s možností upínání a svařování hliníkových trubkových vodičů pro více druhů pouzder a rozveden, jejichž vnitřní a vnější průměry je možné vidět v Tab.1.

V první řadě se tak jedná o svařování vodičů vnitřních průměrů od 88 mm do 170 mm s požadavkem o možnost rozšíření pro vodiče označené v Tab.1 oranžově.

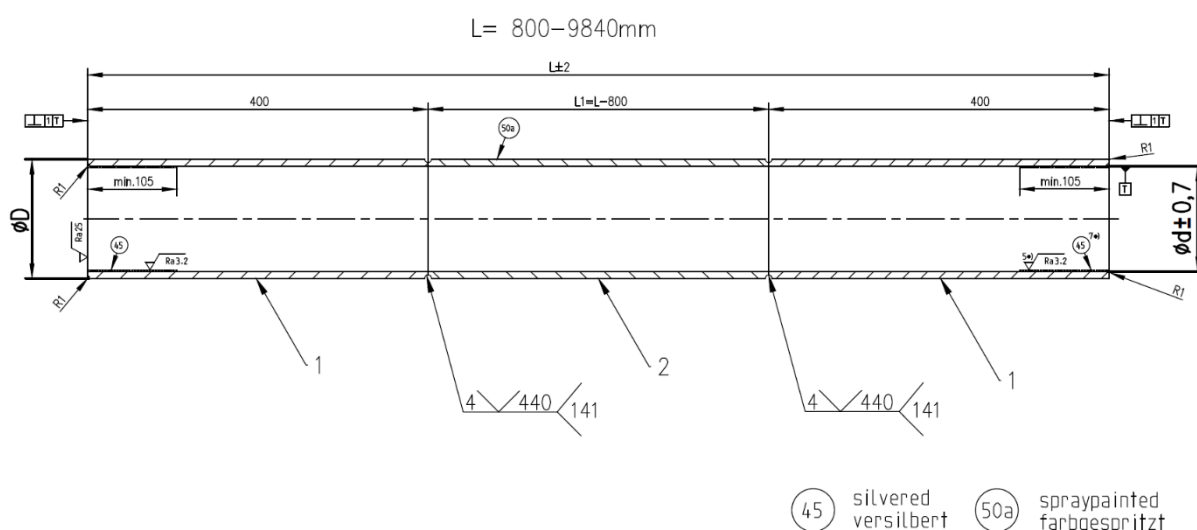
Jak je z obr.29 patrné, každý z těchto vodičů je složen ze tří částí. Jedná se tak o dvě krajní části s vnitřním postříbřením a prostředním mezikusem. Délka vnitřního postříbření krajních částí vodičů je 105 mm a je totožná u všech rozměrů vodičů.

Velikost délky krajních částí je pak 400 mm (viz obr.29). Tato délka byla stanovena za účelem zachování kvality stříbra, kde teplota postříbřených částí nesmí přesáhnout 160°C. Při zkušebních testech ručního svařování vodiče typu ELK-3/420 – vnějšího průměru 140 mm a tloušťky 8 mm, bylo teploměry s nalepovacími sondami naměřeno na postříbřených částech vodiče 120°C a tudíž nedošlo k nepřipustné tepelné zátěži stříbra. Při svařování vodičů větších tloušťek může tato teplota narůstat a je nutné teplotu na postříbřených částech ověřit měřením. Nicméně vysoká rezerva tepelné zátěže postříbřené části naznačuje, že délka 400 mm krajních částí by mohla být dostatečná pro všechny druhy vodičů.

Celková délka všech druhů vodičů je v rozmezí od 800 mm do 10 m, kde jsou délky krajních částí vždy 400 mm a prostřední část je zkracována dle potřeby. Při návrhu zařízení je také zohledněno svařování vodičů o celkové délce 12 m, jejichž výroba je v budoucnu zvažována.

Tab 1) Průměry trubkových vodičů

Typ pouzdra	$\Phi d$ [mm]	$\Phi D$ [mm]	Tloušťka [mm]
ELK-14/300	88	115	13,50
ELK-3/420	124	140	8
ELK-3/420	124	146	11
ELK-3/550	170	180	5
ELK-3/550	170	186	8
ELK-3/550	170	200	15
ELK-04/145	80	110	15
ELK-14/245c	66	90	12



Obr. 29) Výkres svařených trubkových vodičů

Při návrhu upínacího zařízení, upínání jednotlivých částí vodiče a zachování kvality výstupu svařence je nutné splnit tyto požadavky:

- Nesmí dojít k jakémukoliv poškození a poškrábání vnitřní postrříbřené části.
- Nesmí dojít k jakémukoliv poškození a poškrábání vnějších obalových ploch vodiče.
- Části nesmí být zdeformovány ani nijak poškozeny vlivem upínací síly.
- Musí být zaručena sousost mezi jednotlivými částmi dle předepsaných tolerancí.
- Maximální průhyb svařeného celku je 1 mm na 1 m, avšak maximálně 5 mm.
- Volba materiálu částí ve styku s vodičem musí být taková, aby nedocházelo ke kontaminaci povrchu vodiče. Jedná se tak především o ocele, na jejichž povrchu se vytváří koroze (oxid železitý), ale také různé povrchové úpravy (černění, lak, apod.)
- Nesmí dojít ke kontaminaci vodiče oleji ani jinými lubrikanty.
- Zařízení musí být jednoduše přestavitelné pro daný druh vodiče.
- Musí být umožněno zpětné přestavení zařízení pro svařování pouzder.
- Zařízení musí být zkonstruováno tak, aby jeho dílčí části mohly být během periodických intervalů jednoduše udržovány (mazání ložisek a styčných ploch, kontrola apod.)
- Musí být umožněna demontáž jednoho z rozpínacích trnů polohovadel při svařování nejkratší délky vodiče (krajní část na krajní část). Avšak tento rozměr je výjimečný.



## 5.2 Upnutí krajních částí na polohovadle

Vzhledem k požadavkům zachování kvality vnitřního postříbření a eliminaci jeho možného poškození, byl zvolen přístup upnutí krajních částí vodiče za jejich vnější obal. Současně je upnutí krajních částí navrženo tak, aby byly části kolmé vůči otoči polohovadla a v jeho ose.

Vše je navrženo pro upnutí vodičů od 90 mm do 200 mm jejich vnějších průměrů.

Při vypracování návrhu byla zvolena dvě možná aplikovatelná řešení, jejichž výběr závisí na volbě ze strany ABB a výpočtu pořizovací ceny v porovnání s úsporou vedlejších časů a návratnosti.

### 5.2.1 Tříčelist'ové sklíčidlo

Jedním z dvou návrhů řešení upnutí krajních částí vodiče je za pomoci univerzálního sklíčidla. Za tímto účelem byl zvolený produkt značky Schunk – ROTA-S plus 630 -252 A15 (ID-0814266) [12]

Jedná se o tříčelist'ové univerzální sklíčidlo s ručním upínáním a systémem rychlé výměny čelistí. Sklíčidlo je s průchozí dírou o průměru 252 mm. Vnitřní průměr sklíčidla je pak 630 mm. Systém upnutí a středění sklíčidla na polohovadle je přírubové kuželové dle ISO 702-1 a rozměrů dle A15. Hmotnost sklíčidla je 256 kg. Použití sklíčidla je vhodné jak pro soustružnické stroje, ale také pro svařovací automatizace. [12]

Pro zajištění správného upnutí a ustavení sklíčidla na zařízení bylo nutné navrhnout nové části umístěné na polohovadle. Zůstala tak zachována pouze deska otoče polohovadla, kde při konstrukci nových částí byly využity její tvarové prvky a vnitřní závity.

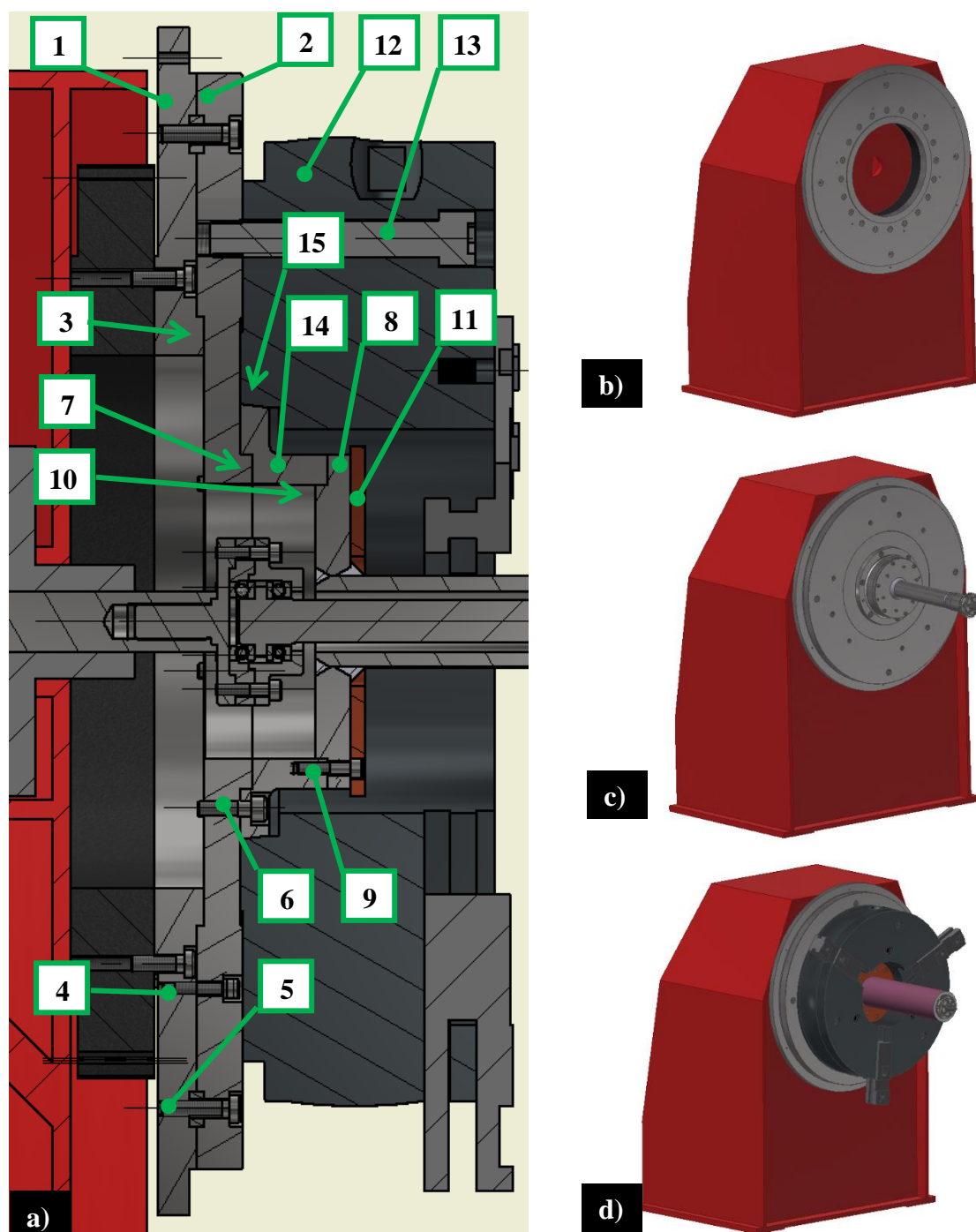
Stávající deska otoče (obr.30 a) poz.1) je na vnitřní roztečné kružnici osazená vnitřními závity M8 a na vnější roztečné kružnici čtyřmi závity M12 se zahloubením. Dále je u vnitřní středové díry osazení ve tvaru vystupujícího tvarového kruhu, jehož funkcí je vystředění dalších prvků vůči desce a zajištění vůči smykovému namáhání šroubů. Tvar desky a její prvky jsou pro další aplikace nevyhovující. Bylo nutné navrhnout upínací přechodnou desku (poz.2), která umožní upnutí tříčelist'ového sklíčidla a dalších dílčích částí mechanismu. Vzhledem k hmotnosti sklíčidla a hmotnosti svařovaných vodičů je využito všech prvků desky otoče mezi něž patří tvarové mezikruží (poz.3), osm šroubů M8 (poz.4) a čtyři šrouby M12 (poz.5) procházející distanční trubicí usazenou mezi deskou otoči a přechodnou deskou. Distanční trubky tak zajistí nenamáhání šroubových spojů na smyk ve směru rotace, byť jsou zde krouticí momenty minimální.

Pro vystředění sklíčidla v ose polohovadla slouží distanční příruba (poz.14), jejíž součástí je kuželové opracování na svém obvodu dle ISO 702-1 (poz.15). Příruba je samostatnou částí ze dvou hlavních důvodů. První z důvodů je ekonomický. Pokud by byla součástí přechodné desky (poz.2), došlo by během opracování k velkému množství odpadního materiálu. Druhým důvodem je vyměnitelnost v případě výběru sklíčidla s jiným systémem upnutí. Příruba je uchycená pomocí šesti šroubů M10 na roztečné kružnici (poz.6) a vystředěná vůči přechodné desce pomocí kruhového osazení (poz.7). Dále je vůči přechodné desce zajištěná dvěma protilehlými válcovými kolíky průměru 8.

Na distanční středící přírubu sklíčidla (poz.14) je uchycená příruba s trubkovým vedením hřídele rozpínacího mechanismu (poz.8). Uchycení příruby je zajištěno pomocí šesti šroubů M8 na roztečné kružnici (poz.9) a její vystředění je tak jako u předešlých součástí za pomoci kruhového osazení (poz.10) a dvou protilehlých válcových kolíků průměru 8.

Součástí příruby (poz.8) je také měděná kruhová deska (poz.11), o kterou je konec vodiče opřen. Měděná deska umožní kromě kolmého usazení vodiče lepší uzemnění jeho části a zároveň umožní lepší odvod tepla při svařování.

Sklíčidlo je přichycené pomocí třech šroubů M24 do přechodné desky (poz.12 a 13).



Obr. 30) Upnutí pomocí sklíčidla a) Řez modelem; b) Deska otoče; c) Upínací deska sklíčidla; d) Upnutí s vodičem

### Legenda k obr.30

- Poz.1 – Stávající deska otoče
- Poz.2 – Přechodná upínací deska
- Poz.3 – Kruhové osazení
- Poz.4 – Šroub s válcovou hlavou – DIN 912 M8x40-10.9 Pozink
- Poz.5 – Šroub s nízkou válcovou hlavou – DIN 6912 M12x45-10.9 Pozink
- Poz.6 – Šroub s válcovou hlavou – DIN 912 M10x35-10.9 Pozink
- Poz.7 – Kruhové osazení
- Poz.8. – Příruba lineárního vedení mechanismu
- Poz.9. – Šroub s válcovou hlavou – DIN 912 M8x35-10.9 Pozink
- Poz.10 – Kruhové osazení
- Poz.11 – Měděná opěrná deska
- Poz.12 – Sklíčidlo Schunk Rota-S Plus
- Poz.13 – Šroub s válcovou hlavou M24
- Poz.14 – Středící příruba sklíčidla
- Poz.15 – Upnutí přes ISO 702-1

Pro vyjasnění návrhu upínání koncových částí vodiče za pomoci tříčelistového sklíčidla je zde několik doplňujících obrázků. Na obr.30 b) je tak možné vidět model polohovadla se stávající deskou otoče bez navrhovaných prvků. Na obr.30 c) je model polohovadla osazený přechodnou upínací deskou, středící přírubou sklíčidla a přírubou lineárního vedení mechanismu. Obr.30 d) znázorňuje upnutou koncovou část vodiče v tříčelistovém sklíčidle.

Při volbě vhodných materiálů dílčích částí je nutné přihlídnout k jednotlivým požadavkům dle kap.5.1. Pro vybrané části byl zvolen tento materiál:

- Přechodná deska polohovadla (obr.30 a) poz.3) – Korozi-vzdorná ocel, legovaná, ušlechtilá ČSN 17240 (1.4301 - X5CrNi 18-10)
- Středící příruba sklíčidla a příruba lineárního vedení (obr. 13a poz.14 a poz.8) - Korozi-vzdorná ocel, legovaná, ušlechtilá ČSN 17248 (1.4541 - X6CrNiTi 18-10)
- Šrouby s válcovou hlavou – Pevnostní třída 10.9 – Pozink
- Válcové kolíky dle DIN 6325
- Opěrná deska vodiče (poz.11) – Měď tvářená-CW004A-R200

Pro dosažení kvality výrobku a nepoškození jeho částí vlivem upínací síly sklíčidla je také nutná vhodná volba čelistí tříčelistového sklíčidla. Pro konce čelistí jsou navrženy tyto dvě varianty:

- Měděné konce čelistí s obloukovým zakončením. Výhodou jejich užití je zabránění poškození v místě styku, lepší odvod tepla z konce vodiče a zajištění

dalšího zemnicího kontaktu. Nevýhodou je nutná výroba měděných konců pro každý průměr vodiče a také jejich nutná výměna ve sklíčidle.

- Čelisti ukončené silonem. Výhodou je užití čelistí pro všechny druhy průměrů vodičů bez poškození vnějších částí. Zároveň silon dokáže odolávat teplotám do 250°C. Nevýhodou je oproti měděným čelistím menší odvod tepla.

Výhody a nevýhody užití tříčelistového sklíčidla:

Výhody:

- Přesné ustavení částí v ose rotace polohovadla.
- Zajištění konců vodičů v axiálním a točném směru.
- Možnost užití pro všechny průměry vodičů – snížení vedlejších časů při přestavování zařízení.
- Možnost upínání jiných než požadovaných průměrů – možnost rozšíření produkce.
- Nemá nutná výroba dalších upínacích přípravků

Nevýhody:

- Vyšší pořizovací cena
- Velká hmotnost tříčelistového sklíčidla
- Nutná výroba upínacích a středících přípravků pro upnutí sklíčidla

### 5.2.2 Vymezovací půlkruhy

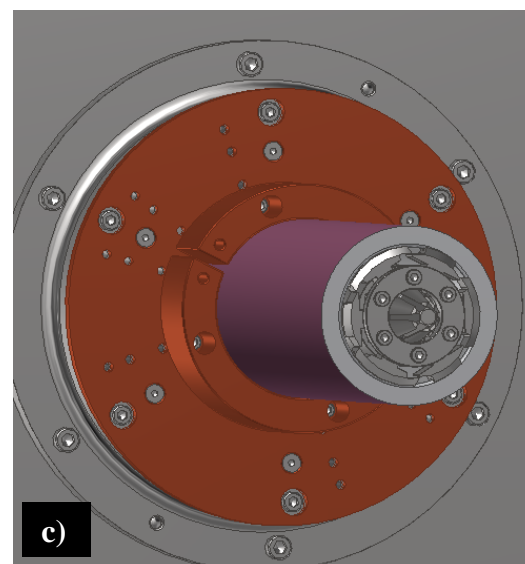
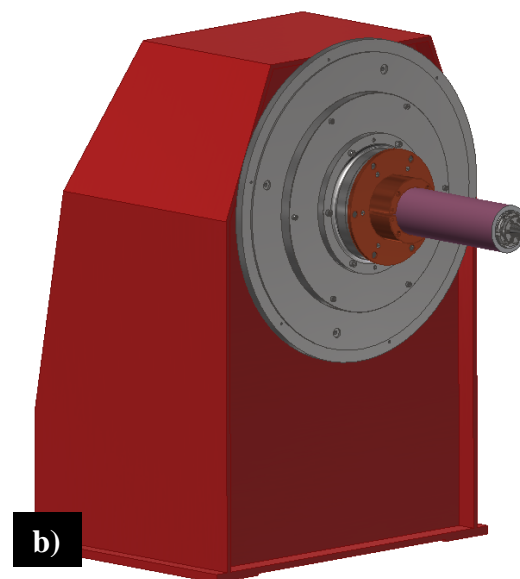
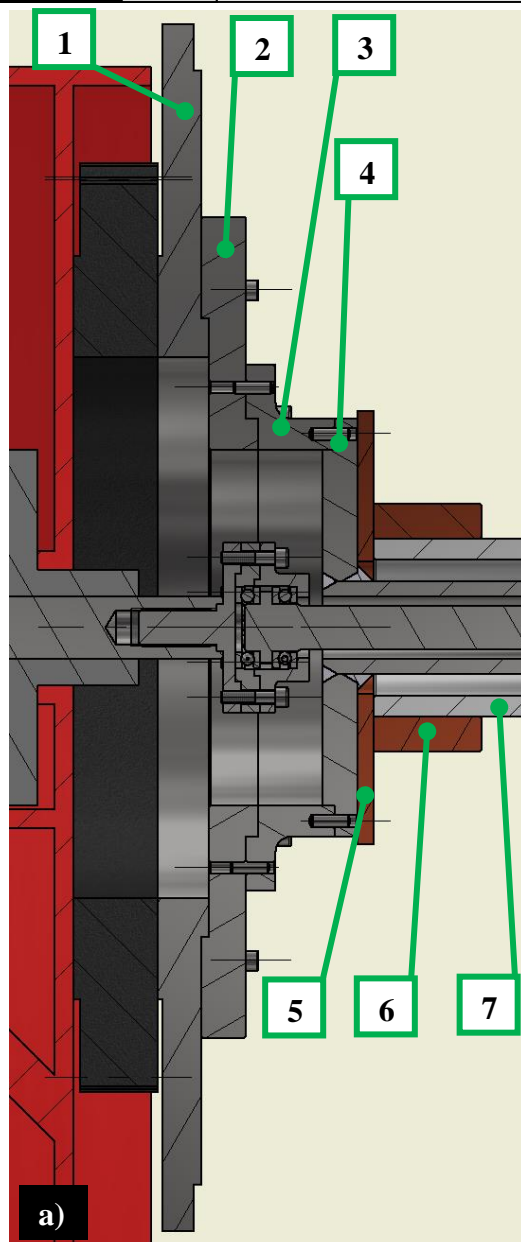
Druhým návrhem ustavení koncových částí vodičů na polohovadle je za pomoci měděných vymezovacích půlkruhů, jejichž vnitřní průměr odpovídá průměru vodiče.

Koncová část vodiče je do půlkruhů vložena a jeho upnutí je zajištěno jednak rozpínacím mechanismem mezi koncovou a středovou částí, ale také posuvným polohovadlem s pneumatickým dvojčinným válcem, který všechny tři části vodiče přitiskne v axiálním směru k sobě.

Obdobně jako u tříčelistového sklíčidla bylo nutné navrhnout nové díly. Upnutí za pomoci vymezovacích půlkruhů se tak sestává z původní desky otoče (obr.31 poz.1), přechodné desky (poz.2), vymezovací příruby (poz.3) a příruby s lineárním vedením hřídele rozpínacího mechanismu (poz.4), na níž je přichycená měděná opěrná deska (poz.5), přes kterou jsou do příruby přichycené vymezovací půlkruhy (poz.6), do kterých je vložený vodič (poz.7).

Jednotlivé díly jsou si velice podobné s díly použitými pro upnutí tříčelistového sklíčidla. Pro splnění účelu jsou však jejich rozměry oproti předešlým upravené.

Způsob upnutí jednotlivých částí je podobný předešlému v kap.5.2.1., kde bylo vše podrobně popsáno. Výjimkou je upnutí přechodné desky (poz.1), kde v řešení návrhu pomocí vymezovacích půlkruhů nebylo nutné užití šroubového spojení M12 s distanční trubicí. Dále pak každý ze dvou vymezovacích kruhů je přichycen dvěma šrouby s válcovou hlavou do příruby lineárního vedení a vymezené dvěma válcovými kolíky průměru 6.



Obr. 31) Upnutí pomocí vymešovacích půlkruhů a) Řez modelem; b) ISO pohled modelu; c) Detail vymešovacích půlkruhů

Legenda k obr.31

- Poz.1 – Stávající deska otoče
- Poz.2 – Přechodná upínací deska
- Poz.3 – Vymešovací příruba
- Poz.4 – Příruba lineárního vedení
- Poz.5 – Opěrná deska
- Poz.6 – Vymešovací půlkruh
- Poz.7 – Vodič typu ELK-14/300

Jak je z obr. 31 b) a c) patrné, usazení vodiče je do dvou protilehlých půlkruhů. Důvodem rozdělení kruhového osazení na dvě části je možnost demontáže půlkruhů při upnutém vodiči. Možnost demontáže musí být umožněna v případě zaseknutí vodiče uvnitř vymezených půlkruhů. Tato situace může nastat vlivem tepelné roztažnosti jednotlivých materiálů, vlivem prachu a nečistot na vodiči nebo také vlivem horní tolerance vnějšího průměru vodiče nebo její nedodržení. Další variantou je zvětšení vnitřního průměru vymezených půlkruhů, nicméně vlivem toho může docházet k nesouososti jednotlivých svařených částí dle předepsaných tolerancí.

Volba materiálu je tak jako u dosedací desky měď, která pomůže odvodu tepla při procesu svařování.

Materiál u dalších dílčích částí včetně spojovacího materiálu je obdobou volby v kap. 5.2.1. Výhody a nevýhody v porovnání s tříčelistovým sklícidlem.

#### Výhody:

- Jednoduchá výroba
- Nižší pořizovací cena
- Umožní lepší odvod tepla
- Není potřeba speciálních částí pro upnutí
- Jednodušší řešení přechodné desky

#### Nevýhody:

- Vodič v polohovadle není upnut v točném a axiálním směru
- Řešení není univerzální – výroba vymezených půlkruhů pro daný průměr
- Navýšení vedlejších časů při přestavování zařízení na jiný typ vodiče
- Vlivem zvětšené vůle v půlkruzích může dojít k přesazení tolerance souososti

### **5.2.3 Zhodnocení**

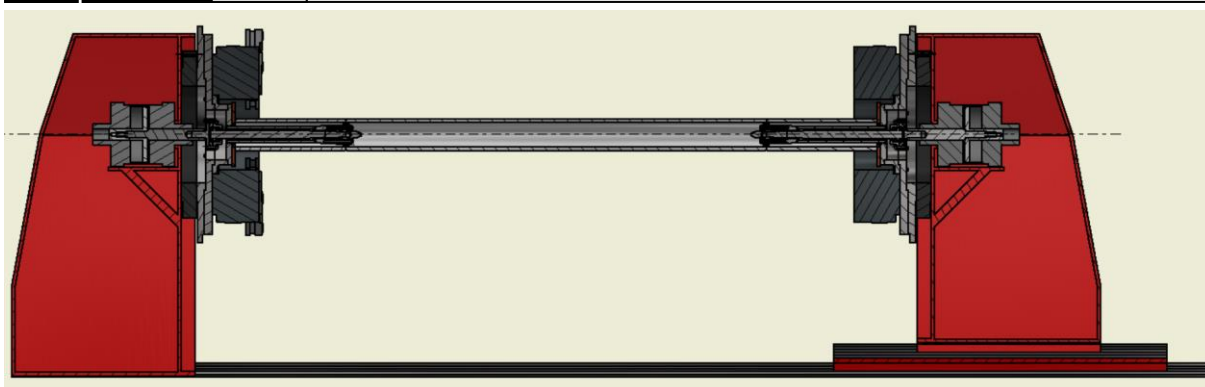
Pro ustavení koncových částí vodičů byly navrženy dvě aplikovatelné varianty, z nichž je po porovnání varianta s tříčelistovým sklícidlem výhodnější. Jedná se tak o větší rozmanitost vyráběných a plánovaných produktů, ale také úspoře vedlejších časů.

Při zvolení varianty pomocí vymezených kruhů je možné přechodnou desku a vymezenou přírubu přizpůsobit pro případné uchycení tříčelistového sklícidla, které může být zakoupeno v budoucnu.

### **5.3 Rozpínací mechanismus**

Pro ustavení částí vodičů, jejich fixaci a jejich vycentrování v místě styku návarových hran slouží vnitřní rozpínací mechanismus, který je dle vstupních požadavků rozměrů vodičů (Tab.1) navržený pro upnutí vodiče nejmenšího vnitřního průměru 88 mm s možností rozšíření až do průměrů 66 mm.

Způsob upnutí pak probíhá tak, že po ustavení krajních částí vodiče v obou polohovadlech je vložena prostřední část vodiče, jehož konce jsou ve styku s krajními částmi vodičů v místě středu svarových podložek. Po rozepnutí mechanismu jsou části vůči sobě zafixovány. Způsob upnutí všech částí je patrné na obr.32.

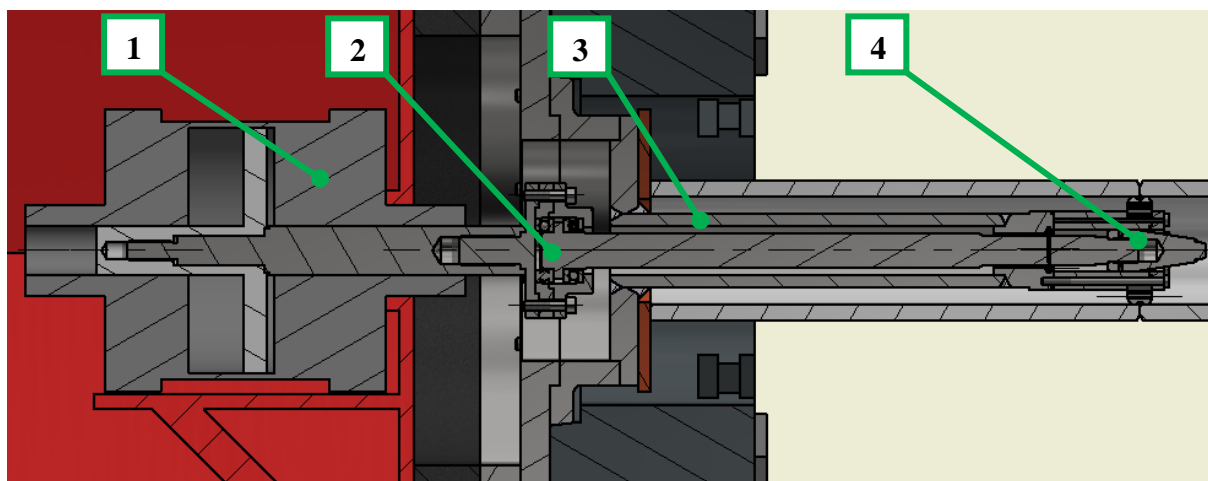


Obr. 32) Upnutí tří částí vodiče na polohovadlech

Jednotlivé části rozpínacího mechanismu jsou dimenzovány pro stávající pneumatický dvojčinný válec Festo s výškou zdvihu 50 mm (kap.4.4.1), jehož teoretická maximální síla je při tlaku 6 barů rozvodů stlačeného vzduchu rovna 18,85 kN (1). Dále bylo nutné jednotlivé části dimenzovat také pro vodič s největší hmotností, kterým je dle Tab.1 hliníkový vodič pro ELK-3/550 s vnějším průměrem 200 mm a tloušťkou stěny 15 mm, jehož celková hmotnost v délce 12 m dosahuje 282 kg.

Konstrukce rozpínacího mechanismu lze rozdělit do několika hlavních částí. Jedná se tak především o pneumatický dvojčinný válec Festo s výstupní hřídelí (obr.33 poz.1), hřídel rozpínacího mechanismu uloženou v axiálních ložiskách (poz.2), umožňující rotaci mechanismu spolu s otočí polohovadla vůči pneumatickému pístu, dále lineární vedení hřídele (poz.3), jehož součástí je také vedení vodících kamenů a svarových podložek, a v poslední řadě rozpínací systém (poz.4).

Jednotlivé části rozpínacího mechanismu budou dále podrobněji rozebrány.



Obr. 33) Hlavní části rozpínacího mechanismu

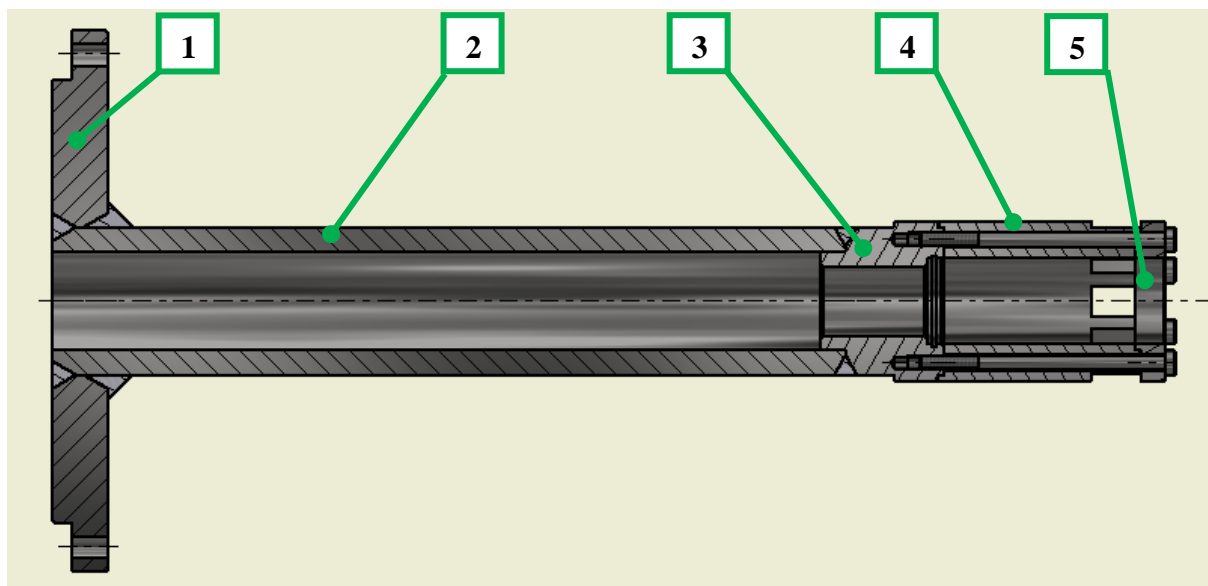
#### Legenda k obr.33

- Poz.1 – Pneumatický dvojčinný válec
- Poz.2 – Hřídel rozpínacího mechanismu
- Poz.3 – Lineární vedení hřídele s vedením kamenů
- Poz.4 – Rozpínací systém

### 5.3.1 Lineární vedení mechanismu

První částí konstrukčního návrhu je lineární vedení mechanismu (obr.33 poz.3), jehož hlavní funkcí je vedení hřídele rozpínacího mechanismu, která se uvnitř vůči vedení pohybuje ve směru osy vlivem pneumatického dvojčinného válce. Další funkcí je kolmé vedení částí rozpínacího systému a v poslední řadě opření konce části vodiče v polohovadle.

První část lineárního vedení se skládá ze svařence, jehož součástí je dosedací příruba (obr.34 poz.1), trubka (poz.2) a koncová vyztužená příruba s vnitřními závity a otvorem pro kluzné ložisko (poz.3). Funkce dosedací příruby a její upnutí bylo pospáno v kap.5.2.1. a 5.2.2. Tento celek byl vyhotoven jako svařenec z ekonomického důvodu, kde by při soustružení celku došlo k velkému odpadnímu materiálu. Na koncovou přírubu (poz.3) je dále uchycena příruba s otvory pro vedení vodičích kamenů (poz.4), která je přes víko (poz.5) chycena šesti šrouby M6 pevnostní třídy 10.9. Všechny části jsou opatřeny kruhovým osazením, jež zajistí vystředění všech částí vůči sobě a také zajistí smykové namáhání částí v kolmém směru vůči ose. Pro eliminaci namáhání šroubových spojů smykem v točném směru, jsou dále součástí zajištěny dvěma protilehlými válcovými kolíky. Průměr koncových částí (poz.3, 4 a 5) je velikosti 65 mm pro možnost usazení vodiče s nejmenším vnitřním průměrem 66 mm. Délka celku pak odpovídá usazení krajních částí vodičů v požadovaných délkách 400 mm.



Obr. 34) Lineární vedení hřídele s vedením kamenů

#### Legenda k obr.34

Poz.1 – Dosedací příruba

Poz.2 – Trubka

Poz.3 – Vyztužená koncová příruba

Poz.4 – Vodičí část kamenů

Poz.5 – Víko

Volba materiálu jednotlivých dílů:

- Dosedací příruba, trubka a koncová příruba (obr.34 poz.1, 2 a 3) - ČSN 17240 (1.4301 - X5CrNi 18-10)

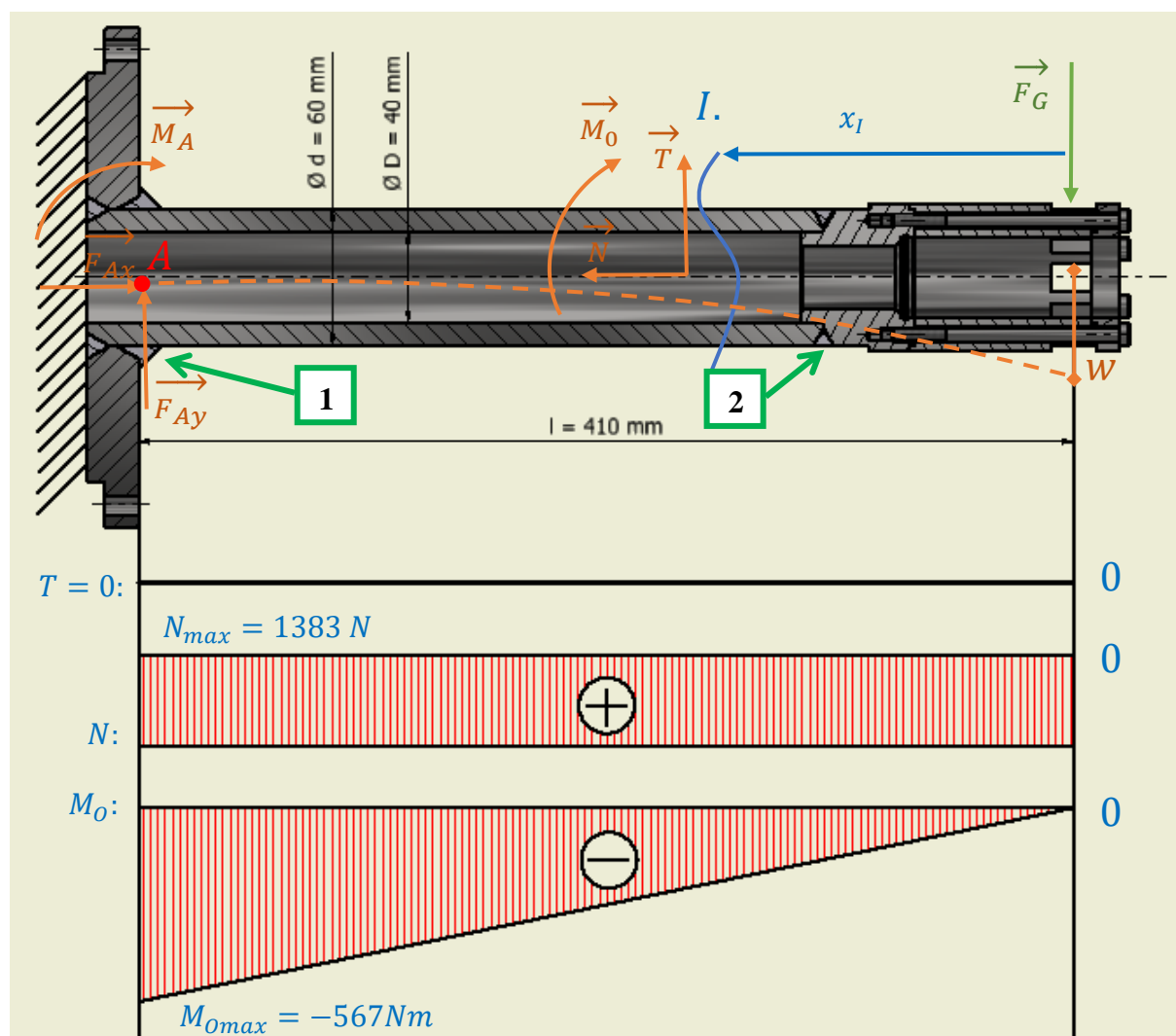


- Vodící část kamenů a víko (obr.34 poz.4 a 5) - ČSN 17042 (1.4112- X90CrMoV 18)
- Šrouby s válcovou hlavou – Pevnostní třída 10.9 – Pozink
- Válcové kolíky dle DIN 6325

Vzhledem maximálnímu průměru lineárního vedení do 65 mm, volbě vhodných vnitřních rozměrů a také volbě vhodného materiálu je nutné provést kontrolní výpočty na ohyb celku a posunutí jeho volného konce vlivem hmotnosti vodiče.

Při řešení výpočtů byl zvolený 2D přístup. Uchycení sestavy je shodné se stykovou vazbou v podobě vetknutí s volným koncem. Síla od hmotnosti vodiče působí pouze v krajním bodě volného konce, kde dochází ke styku se svarovými podložkami. Pro zjednodušení byla sestava spočítána s nejmenším průměrem a nejmenší tloušťkou lineárního vedení pro celou délku nosníku. Jedná se o obecnou rovinnou silovou soustavu. Jako síla působící na volném konci nosníku byla zvolena tíhová síla poloviny hmotnosti nejtěžšího vodiče 282 kg.

Jednotlivé kroky při výpočtu průhybu volného konce nosníku, výpočtu největšího napětí a bezpečností vůči meznímu stavu pružnosti jsou dle obr.35 a jejich výpočet je uveden níže dle rovnic z učebních textů Pružnosti a Pevnosti I. [42]



Obr. 35) Pevnostní výpočet vedení (Poz.1: Koutový svar; Poz.2: Tupý V svar)

**Kinematický rozbor:**

$$i = i_v - \left( \sum \zeta_i - \eta \right) \quad (6)$$

$$i = 3 - (3 - 0) = 0^\circ \text{ volnosti}$$

- kde:  $i$  Počet stupňů volnosti tělesa [-]  
 $i_v$  Počet stupňů volnosti volného tělesa (2D těleso:  $i_v = 3$ ) [-]  
 $\sum \zeta_i$  Počet složek pohybu odebraných vazbami (Vetknutí:  $\zeta = 3$ ) [-]  
 $\eta$  Počet deformačních parametrů omezených vazbami

**Statický rozbor:**

$$NP = \{F_{Ax}, F_{Ay}, M_A\} \Rightarrow \mu = 3 \quad (\mu_F = 2; \mu_M = 1) \quad (7)$$

$$v = 3 \quad (v_F = 2; v_M = 1)$$

$$s = \mu - v \wedge \mu_r + \mu_M \leq v_M$$

$$s = 3 - 3 \wedge 0 + 1 = 1 \Rightarrow \text{úloha je staticky určitá}$$

- kde:  $NP$  Neznámé parametry [-]  
 $\mu$  Počet neznámých parametrů ( $\mu_F$ : silové;  $\mu_M$ : momentové) [-]  
 $v$  Počet silových podmínek ( $v_F$ : silové;  $v_M$ : momentové) [-]  
 $s$  Podmínka statické určitosti [-].

**Sestavení a řešení statických rovnic:**

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0: F_{Ax} &= 0 \text{ [N]} \\ \sum F_y = 0: F_{Ay} - F_G &= 0 \Rightarrow F_{Ay} = F_G = 1383 \text{ N} \\ \sum M_A = 0: -M_A - F_G \cdot l &= 0 \Rightarrow M_A = -F_G \cdot l = -1383 \cdot 0,41 \\ &= -567 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (8)$$

- kde:  $\sum F_x$  Suma sil v ose x [N]  
 $\sum F_y$  Suma sil v ose y [N]  
 $\sum M_A$  Suma momentů k bodu A [Nm]  
 $F_{Ax}$  Síla ve vazbě A v ose x [N]  
 $F_{Ay}$  Síla ve vazbě A v ose y [N]  
 $M_A$  Moment ve vazbě A [Nm]

$F_G$  Tíhová síla poloviny vodiče ELK-3/550 [N]  
 $l$  Rameno působíště síly lineárního vedení [m]

### Výsledné vnitřní účinky v řezu I.

$$x_I \in \langle 0; l \rangle$$

$$\sum T_{iI} = 0: N_I = 0 \text{ [N]}$$

$$\sum N_{iI} = 0: T_I - F_G = 0 \Rightarrow T = F_G = 1383 \text{ [N]} = T_{max} \text{ [N]} \quad (9)$$

$$\sum M_{OI} = 0: -M_{OI} - F_G \cdot x_I = 0 \Rightarrow M_{OI} = -F_G \cdot x \text{ [Nm]}$$

$$M_{OI} = -1383 \cdot 0,41 = -567 \text{ Nm} = M_{Omax}$$

kde:  $\sum T_{iI}$  Suma posouvajících sil v řezu I [N]  
 $\sum N_{iI}$  Suma normálových sil v řezu I [N]  
 $\sum M_{OI}$  Suma momentů v řezu I [Nm]  
 $T_I$  Výsledná posouvající síla řezu I [N]  
 $N_I$  Výsledná normálová síla řezu I [N]  
 $T_{max}$  Maximální posouvající síla [N]  
 $M_{OxI}$  Ohybový moment ve vzdálenosti  $x_I$  [Nm]  
 $M_{OI}$  Ohybový moment ve vzdálenosti  $l$  [N]  
 $M_{Omax}$  Maximální ohybový moment [N]  
 $x$  Vzdálenost řezu od volného konce [m]

Výsledné vnitřní účinky jsou zobrazeny v obr.35

### Kvadratický moment průřezu v ose y:

$$J_y = \frac{\pi \cdot (d^4 - D^4)}{64} [m^4] \quad (10)$$

$$J_y = \frac{\pi \cdot (0,06^4 - 0,04^4)}{64} = 5,105 \cdot 10^{-7} m^4$$

kde:  $J_y$  Kvadratický moment v průřezu [ $m^4$ ]  
 $d$  Vnější průměr trubky [m]  
 $D$  Vnitřní průměr trubky [m]

**Průhyb volného konce prutu:**

$$w = \frac{\partial W}{\partial F_G} = \int_0^l \frac{M_0}{E \cdot J_y} \cdot \frac{\partial M_0}{\partial F_G} \cdot dx \text{ [m]} \quad (11)$$

$$w = \int_0^l \frac{-F_G \cdot x}{E \cdot J_y} \cdot (-x) \cdot dx = \int_0^l \frac{F_G \cdot x^2}{E \cdot J_y} \cdot dx = \frac{F_G}{E \cdot J_y} \cdot \int_0^l x^2 \cdot dx \text{ [m]}$$

$$w = \frac{F_G}{E \cdot J_y} \cdot \left[ \frac{x^3}{3} \right]_0^l = \frac{F_G \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J_y} = \frac{1383 \cdot 0,41^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,105 \cdot 10^{-7}} \text{ [m]}$$

$$w = 2,96 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,296 \text{ mm}$$

kde:  $w$  Průhyb nosníku v místě působící síly [mm]

$W$  Energie napjatosti [J]

$E$  Youngův modul pružnosti (pro ocel:  $E = 210 \cdot 10^9 \text{ [Pa]}$ )

Průhyb lineárního vedení mechanismu je v jeho konci 0,3 mm vlivem poloviny hmotnosti vodiče 282 kg. Tento výsledek je vyhovující.

**Modul průřezu v ohybu v ose y:**

$$W_o = \frac{\pi \cdot (d^4 - D^4)}{32 \cdot d} \quad (12)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot (0,06^4 - 0,04^4)}{32 \cdot 0,06} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

kde:  $W_o$  Modul v průřezu v ohybu [ $\text{m}^4$ ]

**Maximální ohybové napětí:**

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{W_o} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (13)$$

$$\sigma_o = \frac{567}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 33352941 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 33,35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

kde:  $\sigma_o$  Ohybové napětí [ $\text{N/m}^2$ ]

**Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:**

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o} [-] \quad (14)$$

$$k = \frac{210}{33,35} = 6,3$$

kde:  $k$  Koeficient bezpečnosti [–]  
 $R_e$  Mez kluzu v tahu (pro ocel ČSN 17 240:  $R_e = \min. 210 \text{ N/mm}^2$  [43])

Volba materiálu a rozměry součásti s výsledkem velikosti koeficientu bezpečnosti 6,3 jsou pro vodič s největší hmotností vyhovující.

#### Kontrola pevnosti svarových spojů:

$$k_k = k \cdot \alpha_k \text{ [–]} \quad (15)$$

$$k_k = 6,3 \cdot 0,65 = 4,1$$

$$k_v = k \cdot \alpha_v \text{ [–]} \quad (16)$$

$$k_v = 6,3 \cdot 0,85 = 5,355$$

kde:  $k_k$  Koeficient bezpečnosti koutového svaru [–]  
 $k_v$  Koeficient bezpečnosti tupého svaru [–]  
 $\alpha_k$  Převodní součinitel svarového spoje pro koutový svár dle ČSN 05 0120 [–]  
 $\alpha_v$  Převodní součinitel svarového spoje pro tupý svár dle ČSN 05 0120 [–]

Kontrola pevnosti koutového svaru mezi dosedací přírubou a trůbkou (obr.35 poz.1) a kontrola pevnosti tupého V svaru mezi koncovou přírubou a trůbkou (obr.35 poz.2) byly provedeny také pomocí aplikace softwaru Autodesk Inventor Professional 2018.

Vstupními hodnotami pro výpočet jsou mez kluzu a mez v tahu, které jsou pro ocel ČSN 17 240  $R_e = \min. 210 \text{ N/mm}^2$  a  $R_m = \min. 520 \text{ N/mm}^2$  [43], velikost zátěžné síly, rozměry nosníku a ramene zátěžné síly a v poslední řadě také koeficient bezpečnosti, který byl pro kontrolní výpočty zvolený velikosti 10.

Na obr.36 je možné vidět výsledek výpočtu koutového sváru a na obr.37 tupého sváru do V.

Z výpočtů pro lineární vedení hřídele rozpínacího mechanismu je patrné, že součást byla dimenzována s vyhovujícími výsledky.

Výpočet koutového svaru (prostorové zatížení)

**Výpočet** **Výpočet únavy materiálu (CSN)**

**Výpočet staticky zatíženého svaru**

☒ Standardní postup výpočtu

☐ Metoda srovnávacích napětí

☐ Uvažována pouze nosná délka svaru

☐ Tloušťka příruby a svaru se ignoruje

☐ Uvažováno rozdělení smykového napětí

☐ Uvažována pouze kladná hodnota napětí

**Zatížení**

Ohybová síla  $F_y$  1383,000 N

Rameno síly  $e$  410

**Rozměry**

Výška svaru  $a$  10,000 mm

Průměr nosníku  $D$  60

**Materiál a vlastnosti spoje**

☐ Vlastní

Mez kluzu v tahu  $S_y$  210 MPa

Mez pevnosti v tahu  $S_u$  520 MPa

Souč. bezpečnosti  $n_s$  10

Dovolené napětí  $S_{al}$  21,000 MPa

**Tvar svaru**

**Zatížení svaru**

**Výsledky**

$\sigma_A$  21,000 MPa

$a_{min}$  7,553 mm

$D_{min}$  46,690 mm

$\sigma$  14,734 MPa

$\tau$  0,629 MPa

$\sigma_R$  14,774 MPa

$F_{ymax}$  1965,793 N

2:17:28 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat OK Storno <<

**Výpočet cyklicky zatíženého svaru**

☐ Obecná metoda

☒ Výpočet dle CSN

**Výpočet dovoleného napětí**

☒ Z meze kluzu v tahu

☐ Ručně

Obr. 36) Kontrola pevnosti koutového svaru

Výpočet tupého svaru

**Výpočet** **Výpočet únavy materiálu (CSN)**

**Zatížení**

Ohybová síla  $F_y$  1383,000 N

Rameno síly  $e$  120,000 mm

**Rozměry**

Tloušťka desky  $s$  10

Délka svaru  $L$  100,000 mm

**Materiál a vlastnosti spoje**

☐ Vlastní

Mez kluzu v tahu  $S_y$  210 MPa

Mez pevnosti v tahu  $S_u$  520 MPa

Souč. bezpečnosti  $n_s$  10

Dovolené napětí  $S_{al}$  21,000 MPa

**Provedení svaru**

**Výpočet staticky zatíženého svaru**

☒ Standardní postup výpočtu

☐ Metoda srovnávacích napětí

☒ Uvažována pouze nosná délka svaru

**Zatížení svaru**

**Výsledky**

$\sigma_A$  21,000 MPa

$s_{min}$  6,370 mm

$L_{min}$  89,340 mm

$\sigma$  15,559 MPa

$\tau$  1,729 MPa

$\sigma_R$  15,844 MPa

$F_{ymax}$  1833,000 N

3:17:22 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

3:17:22 Výpočet únavy materiálu: Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat OK Storno <<

**Výpočet cyklicky zatíženého svaru**

☐ Obecná metoda

☒ Výpočet dle CSN

**Výpočet dovoleného napětí**

☒ Z meze kluzu v tahu

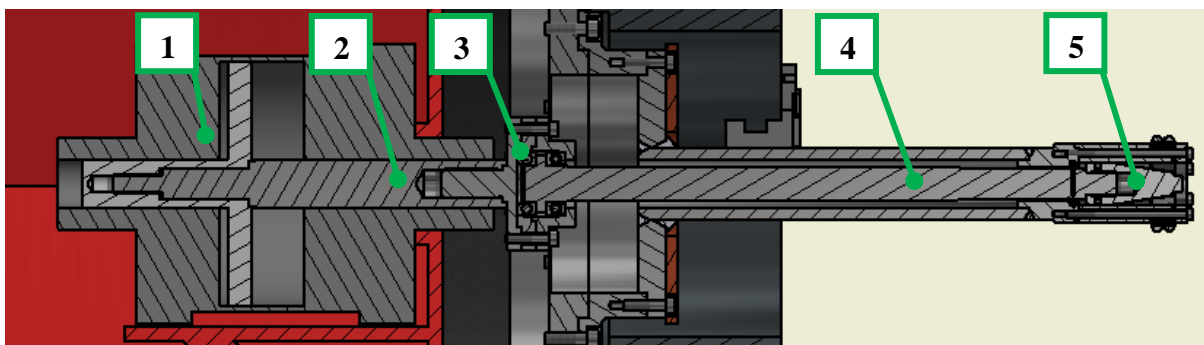
☐ Ručně

Obr. 37) Kontrola pevnosti tupého svaru

### 5.3.2 Hybná část rozpínacího mechanismu

Rozpínání svarových podložek pro vnitřní upnutí částí vodiče je umožněno pomocí pneumatického dvojčinného válce s hřídelí, jež se v axiálním směru pohybuje v lineárním vedení hřídele a tím umožňuje funkci rozpínacího systému.

Jak je z obr.38 patrné, hybná část mechanismu se skládá z těchto dílčích částí. Pohyb částí umožňuje pneumatický válec Festo o síle pístu 18,85 kN a zdvihu 50 mm. Na hřídel vedoucí z pístu válce (poz.2) je uchycený náboj s vnitřním uložením axiálních ložisek (poz.3), jež umožňuje rotaci hřídele (poz.4) a zároveň její lineární pohyb spolu s pístem. Na konci hřídele (poz.4) je uchycený rozpínací trn s vodícími drážky kamenů (poz.5) jež umožňuje spolu s lineárním vedením hřídele rozpínání svarových podložek.



Obr. 38) Hybná část rozpínacího mechanismu

#### Legenda k obr.38

- Poz.1 – Pneumatický píst
- Poz.2 – Hřídel pístu
- Poz.3 – Náboj s axiálními ložisky
- Poz.4 – Hřídel mechanismu
- Poz.5 – Rozpínací trn

Píst pneumatického dvojčinného válce (obr. 38 poz.1) je zajištěn vůči rotaci a proto je nutná přítomnost náboje (poz.3) s axiálními ložisky umožňující rotaci hřídele (poz.4) spolu s otočí polohovadla a lineárním vedením.

Vzhledem k maximální síle pístu 18,85 kN byla zvolena dvě axiální jednosměrná ložiska 51 206 z katalogu ZKL, jejichž základní statická únosnost je 58,2 kN a dynamická 30,3 kN. [44]

Vnější průměr axiálních ložisek o velikosti 52 mm znemožňuje jejich usazení v dimenzovaném lineárním vedení hřídele pro nejmenší průměr vodiče 66 mm. Z tohoto důvodu bylo nutné uložení v axiálních ložiskách umístit mezi pneumatický válec a lineární vedení hřídele.

Hřídel, vedoucí z pístnice současného rozpínacího mechanismu (kap.4.3. obr.26 poz.2) je spolu s její délkou a ukončením v podobě vnějšího metrického závitu, nevyhovující. Její použití by zapříčinilo posuv celého náboje s axiálními ložisky a tím i lineárního vedení hřídele spolu s upnutím tříčelistového sklíčidla směrem od polohovadla, jež by mělo značný vliv při

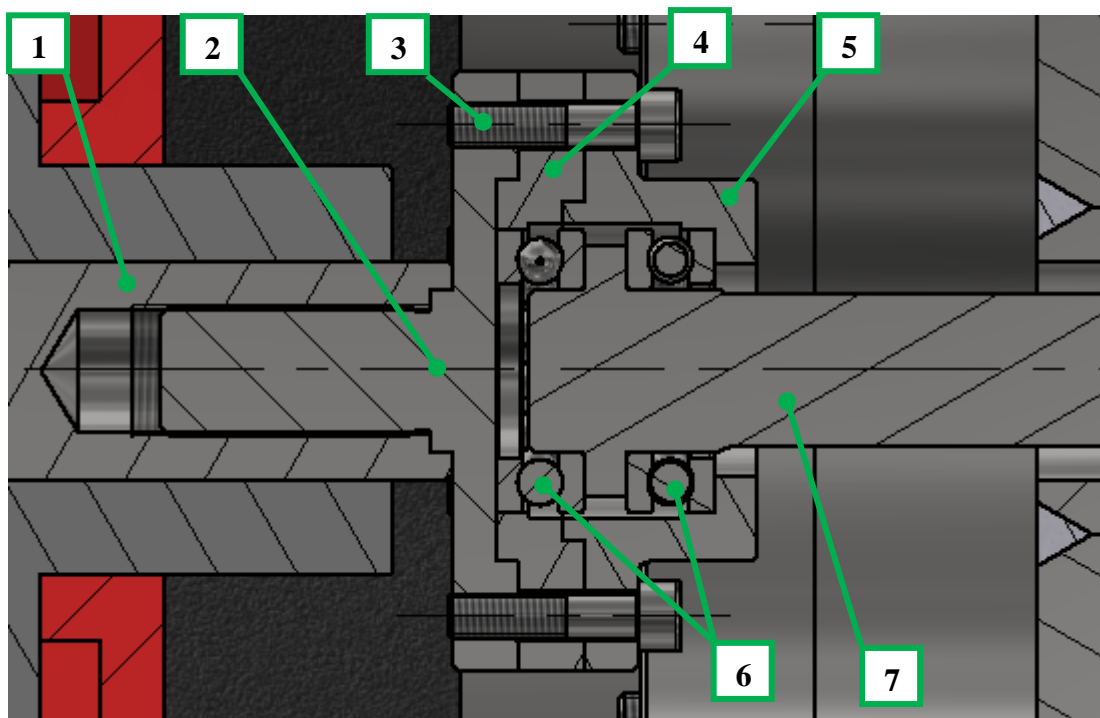
dimenzování pevností jednotlivých částí ekonomičnost výroby, ale také by zapříčinilo posuv těžiště vně polohovadla vlivem jejich hmotnosti.

Z tohoto důvodu byla navržena nová hřídel z pístnice (obr.39 poz.1), která je již vhodné délky pro zdvih pístu velikosti 50 mm a je ukončena vnitřním metrickým závitem s jemným stoupáním. Náboj pro ložiska se pak sestává ze tří částí, jimiž jsou zadní část náboje (poz.2) s vnějším metrickým závitem, střední část náboje (poz.4), do které je vlisováno jedno ze dvou axiálních ložisek a přední příruba náboje (poz.5), přes kterou jsou všechny tři části spojeny pomocí šesti šroubů M10 (poz.3) rozložených na roztečné kružnice. Jednotlivé díly jsou opatřeny kruhovým osazením pro vystředění vůči sobě.

Důvodem návrhu náboje ze tří částí je umožnění jednoduché montáže a demontáže vlisovaných ložisek, umožnění přístupu pro údržbu, mazání ložisek, a jednoduché demontáži hřídele vedoucí k rozpínacímu mechanismu. V neposlední řadě je toto řešení náboje také zajištění co nejmenších rozměrů mezi pneumatickým válcem a lineárním vedením. Z tohoto důvodu bylo také nutné navrhnuté řešení uchycení náboje pomocí šroubového spoje (poz.2) do hřídele pístnice (poz.1). Hřídel pístnice je pak v místě styku s nábojem osazená drážky pro stranový klíč a spolu s otvory pro hákový klíč umístěné na vnějším obvodu náboje, lze části vůči sobě řádně dotáhnout. Tento šroubový spoj je dále zajištěn středně pevnostním lepidlem Loctite 243, které umožní i jejich demontáž.

Axiální ložiska (poz.6) jsou vlisována ve středové části náboje (poz.4) a přírubě náboje (poz.5) a axiálně zajištěna v zadní části a přední přírubě. Jejich vymezení a ustavení dále zajišťuje osazení na hřídeli (poz.7), na které jsou vnitřní vodící kroužky ložiska nalisované. Hřídel je na své druhé straně uložena v přírbovém kluzném pouzdře, které je vlisováno do vyztužené příruby lineárního vedení a zajištěno pojišťovacím kroužkem (obr.40). Pojištění kroužkem je zde pro oporu v případě možného posunutí ložiska vlivem funkce mechanismu

Tímto řešením je umožněn obousměrný zdvih pístu při zachování nejmenších rozměrů.

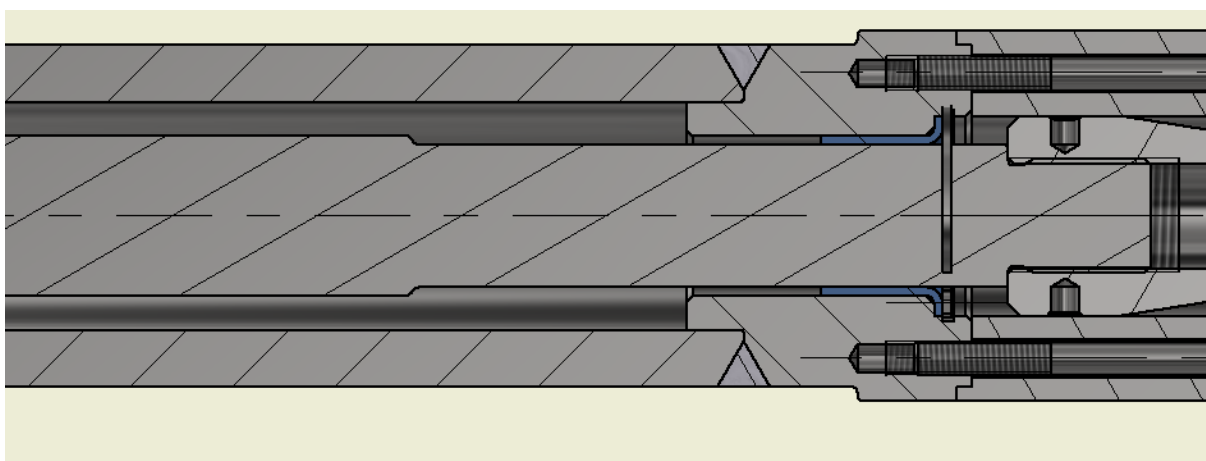


Obr. 39) Uložení axiálních ložisek



### Legenda k obr.39

- Poz.1 – Pneumatický píst
- Poz.2 – Zadní část náboje
- Poz.3 – Šroub s válcovou hlavou M10
- Poz.4 – Středová část náboje
- Poz.5 – Příruba náboje
- Poz.6 – Axiální ložiska 51 206
- Poz.7 – Hřídel mechanismu



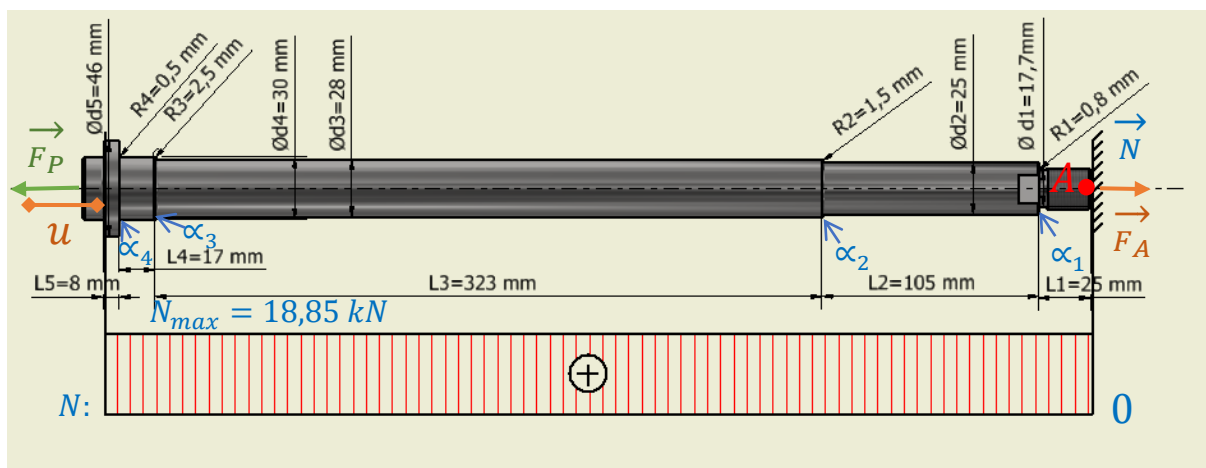
Obr. 40) Uložení hřídele v kluzném pouzdře

Volba vhodných materiálů jednotlivých dílů:

- Náboj ložisek (obr.39 poz.2, 4 a 5) - ČSN 17137 (1.4122- X39CrMo 17-1)
- Hřídel pístu a hřídel mechanismu (obr.39 poz.1 a 7) - ČSN 17145 (1.4057- X17CrNi 16-2)
- Šrouby s válcovou hlavou (obr.39 poz.3) – Pevnostní třída 10.9 – Pozink
- Axiální kuličková ložiska – ZKL 51 206

Pro zajištění funkčnosti navržených součástí je také nutná kontrola hřídele mechanismu na tah/tlak vzhledem k meznímu stavu pružnosti, výpočet maximálního napětí a výpočet koeficientu bezpečnosti, ale také nutná kontrola na vzpěr vůči síle pneumatického válce 18,85kN. Vzhledem k tomu, že je hřídel namáhána pouze na tah/tlak, byl zvolen 2D přístup se silovou soustavou na společné nositelce. Uchycení konce hřídele je podobné vetknutí. Nicméně pro zjednodušení výpočtu je vetknutí nahrazenou vazbou typem lano. Výpočet jednotlivých částí je uveden níže dle rovnic z učebních textů Pružnosti a Pevnosti I. [42]

Výpočty jsou provedeny dle obr.41.



Obr. 41) Výpočet hřídele

### Kinematický rozbor:

$$i = i_v - \left( \sum \zeta_i - \eta \right) \quad (17)$$

$$i = 1 - (1 - 0) = 0^\circ \text{ volnosti}$$

- kde:  $i$  Počet stupňů volnosti tělesa [-]  
 $i_v$  Počet stupňů volnosti volného tělesa (2D těleso:  $i_v = 1$ ) [-]  
 $\sum \zeta_i$  Počet složek pohybu odebraných vazbami (Lano:  $\zeta = 1$ ) [-]  
 $\eta$  Počet deformačních parametrů omezených vazbami

### Statický rozbor:

$$NP = \{F_A\} \Rightarrow \mu = 1 \quad (\mu_F = 1; \mu_M = 0) \quad (18)$$

$$v = 1 \quad (v_F = 1; v_M = 0)$$

$$s = \mu - v \wedge \mu_r + \mu_M \leq v_M$$

$$s = 1 - 1 \wedge 0 + 0 = 0 \Rightarrow \text{úloha je staticky určitá}$$

- kde:  $NP$  Neznámé parametry [-]  
 $\mu$  Počet neznámých parametrů ( $\mu_F$ : silové;  $\mu_M$ : momentové) [-]  
 $v$  Počet silových podmínek ( $v_F$ : silové;  $v_M$ : momentové) [-]  
 $s$  Podmínka statické určitosti [-].

### Sestavení a řešení statických rovnic:

$$\sum F_x = 0: F_A = F_P = 18\,850 \text{ [N]} \quad (19)$$

kde:  $\sum F_x$  Suma sil v ose x [N]  
 $F_A$  Síla ve vazbě A v ose x [N]  
 $F_P$  Síla pístu [N]

### Výsledné vnitřní účinky

Součást je namáhána pouze na tah/tlak s působišťem síly v jejím konci a nedochází v celé její délce k normálovému styku s žádnou další součástí. Normálová síla je neměnná v celé délce součásti a pro určení VVÚ jí není nutné určovat v jednotlivých řezech.

$$\sum N_i = 0: N = F_P = F_A = N_{max} 18\,850 \text{ [N]} \quad (20)$$

kde:  $\sum N_i$  Suma normálových sil [N]  
 $N$  Výsledná normálová síla [N]  
 $N_{max}$  Maximální normálová síla [N]

Výsledné vnitřní účinky jsou zobrazeny v obr.41

### Plochy jednotlivých průřezů:

$$S_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (21)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 17,7^2}{4} = 246,1 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 490,9 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} = 615,8 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,9 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} = \frac{\pi \cdot 46^2}{4} = 1661,9 \text{ mm}^2$$

kde:  $S_i$  Plocha jednotlivých průřezů dle obr.41 [mm<sup>2</sup>]  
 $d_i$  Průměr jednotlivých průřezů dle obr.41 [mm]

**Posuv volného konce prutu:**

$$u = \frac{\partial W}{\partial F_P} = \sum_{i=1}^n \frac{N \cdot L_i}{E \cdot S_i} \cdot \frac{\partial N}{\partial F_P} [mm] \quad (22)$$

$$u = \frac{F_P \cdot L_1}{E \cdot S_1} \cdot 1 + \frac{F_P \cdot L_2}{E \cdot S_2} \cdot 1 + \frac{F_P \cdot L_3}{E \cdot S_3} \cdot 1 + \frac{F_P \cdot L_4}{E \cdot S_4} \cdot 1 + \frac{F_P \cdot L_5}{E \cdot S_5} \cdot 1 [mm]$$

$$u = \frac{18850}{210 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{25}{246,1} + \frac{105}{490,9} + \frac{323}{615,8} + \frac{17}{706,9} + \frac{8}{1661,9} \right) [mm]$$

$$u = 7,76 \cdot 10^{-5} mm$$

kde:  $u$  Posun volného konce v místě působící síly [mm]

$W$  Energie napjatosti [J]

$E$  Youngův modul pružnosti (pro ocel:  $E = 210 \cdot 10^6 [MPa]$ )

$L_i$  Délka jednotlivých průřezů dle obr.41 [mm]

Posuv volného konce je vlivem velikosti síly 18,85 kN pneumatického válce vyhovující.

**Normálová napětí jednotlivých průřezů:**

$$\sigma_i = \frac{N}{S_i} [N/mm^2] \quad (23)$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{S_1} = \frac{18\,850}{246,1} = 76,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{S_2} = \frac{18\,850}{490,9} = 38,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{N}{S_3} = \frac{18\,850}{615,8} = 30,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{N}{S_4} = \frac{18\,850}{706,9} = 26,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_5 = \frac{N}{S_5} = \frac{18\,850}{1661,9} = 11,34 \text{ N/mm}^2$$

kde:  $\sigma_i$  Normálové napětí v místě průřezu [ $N/mm^2$ ]

**Tvarové součinitele koncentrace napětí:**

Tvarové součinitele jsou určeny dle výsledků z grafu obr.42.

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{25}{17,7} = 1,41; \quad \frac{R_1}{d_1} = \frac{0,8}{17,7} = 0,045 \Rightarrow \alpha_1 = 2,3 \quad (24)$$

$$\frac{d_3}{d_2} = \frac{28}{25} = 1,12; \quad \frac{R_2}{d_2} = \frac{1,5}{25} = 0,06 \Rightarrow \alpha_2 = 1,7$$

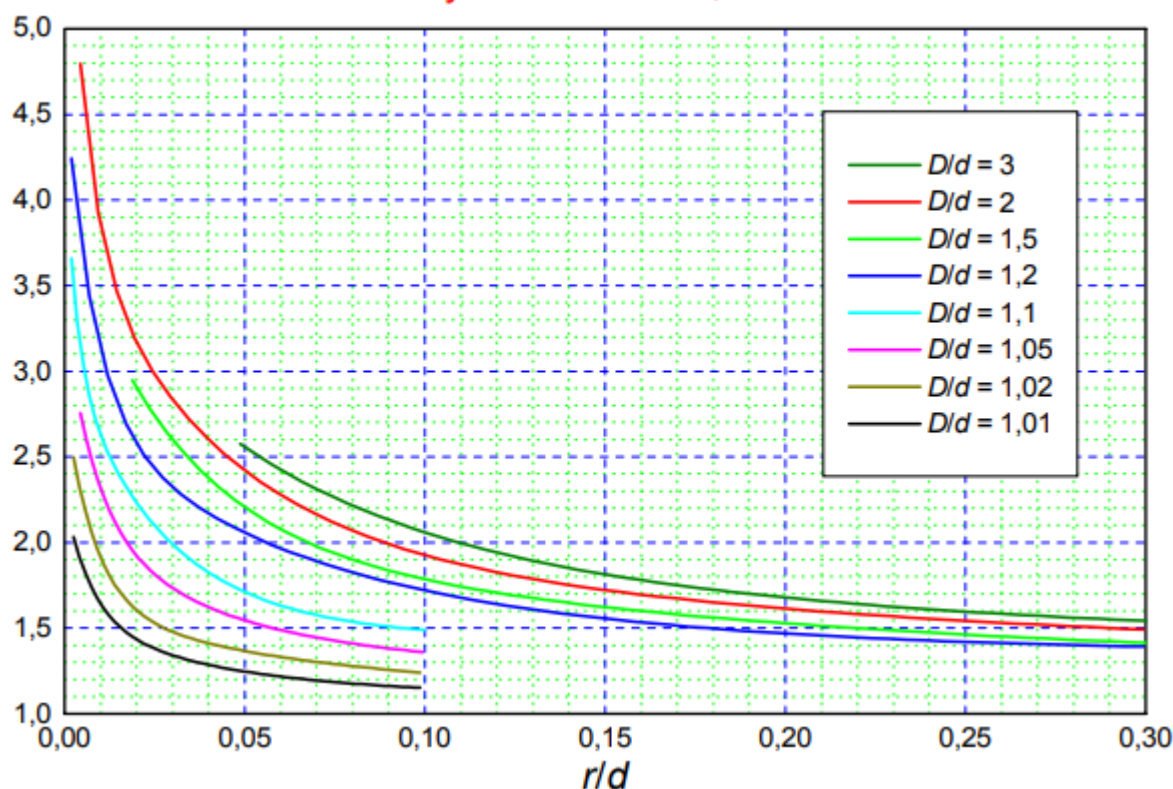
$$\frac{d_4}{d_3} = \frac{30}{28} = 1,07; \quad \frac{R_3}{d_3} = \frac{2,5}{28} = 0,09 \Rightarrow \alpha_3 = 1,5$$

$$\frac{d_5}{d_4} = \frac{46}{30} = 1,53; \quad \frac{R_4}{d_4} = \frac{0,5}{30} = 0,02 \Rightarrow \alpha_4 = 2,9$$

kde:  $\alpha_i$  Součinitel koncentrace napětí [–]

$R_i$  Poloměr zaoblení dle obr.41 [mm]

### Tyč s osazením, tah



Obr. 42) Součinitel koncentrace napětí [45]

### Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:

$$k_i = \frac{R_e}{\sigma_i \cdot \alpha_i} [-] \quad (25)$$

$$k_1 = \frac{R_e}{\sigma_1 \cdot \alpha_1} = \frac{450}{76,6 \cdot 2,3} = 2,55$$

$$k_2 = \frac{R_e}{\sigma_2 \cdot \alpha_2} = \frac{450}{38,4 \cdot 1,7} = 6,89$$

$$k_3 = \frac{R_e}{\sigma_3 \cdot \alpha_3} = \frac{450}{30,6 \cdot 1,5} = 9,8$$

$$k_4 = \frac{R_e}{\sigma_4 \cdot \alpha_4} = \frac{450}{26,7 \cdot 1,9} = 8,87$$

$$k_5 = \frac{R_e}{\sigma_5} = \frac{450}{11,34} = 39,68$$

kde:  $k_i$  Koeficient bezpečnosti [–]

$R_e$  Mez kluzu v tahu (pro ocel ČSN 17 145:  $R_e = \min. 450 \text{ N/mm}^2$  [43])

Volba materiálu a rozměry součásti při porovnání výsledků koeficientů bezpečnosti jsou vyhovující.

#### Kontrola na smyk v místě osazení pro ložiska:

$$\sigma_{DT} = \frac{Re}{k_S} [N/mm^2] \quad (26)$$

$$\sigma_{DT} = \frac{450}{4} = 112,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{F_P}{S_S} = \frac{F_P}{\pi \cdot d_4 \cdot L_5} [N/mm^2] \quad (27)$$

$$\tau_s = \frac{18\,850}{\pi \cdot 30 \cdot 8} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{DS} = 0,6 \cdot \sigma_{DT} = 67,5 \text{ N/mm}^2 \quad (28)$$

$$\tau_{DS} > \tau_s \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:  $k_S$  Zvolený koeficient bezpečnosti velikosti 4 [–]

$\sigma_{DT}$  Dovolené namáhání v tahu [ $N/mm^2$ ]

$\tau_s$  Smykové namáhání v místě osazení pro ložiska [ $N/mm^2$ ]

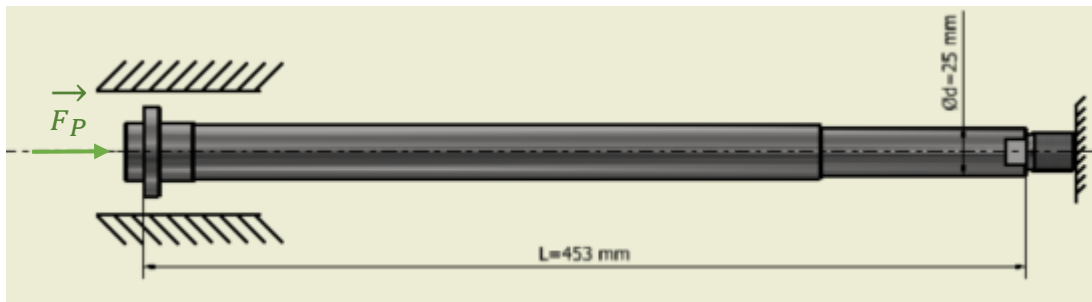
$\tau_{DS}$  Dovolené smykové namáhání [ $N/mm^2$ ]

$S_S$  Plocha působíště smykové síly [ $mm^2$ ]

Z předchozích výpočtů je patrné, že navržení hřídele hybné části mechanismu je vyhovující.

#### Kontrola hřídele v tlaku na vzpěr:

Výpočet hřídele na vzpěr je dle obr.43, kde je pro zjednodušení výpočtu uvažován nejmenší průměr hřídele v celé její délce. Hřídel je na jedné své straně uložena v posuvné vazbě pneumatického válce a ve straně druhé vetknuta. Výpočty pro vzpěrnou stabilitu prutů jsou dle učebních textů Pružnosti a Pevnosti I. [42]



Obr. 43) Kontrola hřídele na vzpěr

### Kvadratický moment průřezu:

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} [mm^4] \quad (29)$$

$$J = \frac{\pi \cdot 25^4}{64} = 19174 mm^4$$

kde:  $J$  Kvadratický moment průřezu [ $mm^4$ ]

$d$  Nejmenší průměr hřídele [ $mm$ ]

### Poloměr setrvačnosti:

$$i_J = \sqrt{\frac{J}{S}} [mm] \quad (30)$$

$$i_J = \sqrt{\frac{J}{S}} = \sqrt{\frac{J}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}} = \sqrt{\frac{19174}{\frac{\pi \cdot 25^2}{4}}} = 6,25 mm$$

kde:  $i_J$  Poloměr setrvačnosti [ $mm$ ]

$S$  Plocha průřezu [ $mm^2$ ]

### Štíhlost prutu:

$$\lambda = \frac{L}{i_J} [-] \quad (31)$$

$$\lambda = \frac{453}{6,25} = 72,48$$

kde:  $\lambda$  Štíhlost prutu [ $-$ ]

$L$  Délka prutu [ $mm$ ]

### Mezní štíhlost prutu:

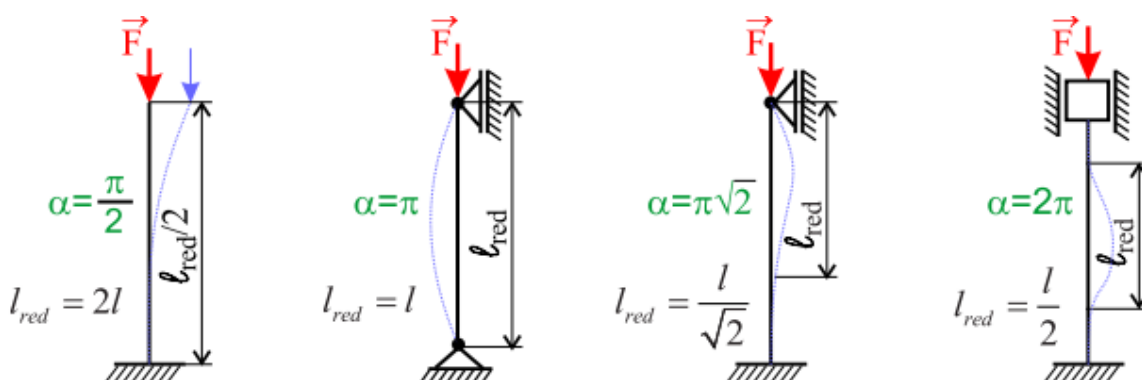
Součinitel  $\alpha$  je určen dle typu uložení z obr.44 [46].



$$\lambda_k = \sqrt{\frac{\alpha^2 \cdot E}{R_e}} [-] \quad (32)$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{(2 \cdot \pi)^2 \cdot 210 \cdot 10^6}{450}} = 4292$$

kde:  $\lambda_k$  Mezní štíhlost prutu [-]  
 $\alpha$  Součinitel vzpěrné stability (dle obr.44:  $\alpha = 2 \cdot \pi$ )  
 $R_m$  Mez kluzu v tahu (pro ocel ČSN 17 145:  $R_e = \min. 450 \text{ N/mm}^2$  [43])  
 $E$  Youngův modul pružnosti (pro ocel:  $E = 210 \cdot 10^6 [\text{MPa}]$ )



Obr. 44) Koeficient vzpěrné stability [46]

**Výsledek:**

$$\lambda_k < \lambda \quad (33)$$

Dle relace není nutné počítat bezpečnost, vzhledem k meznímu stavu vzpěrné stability, ale pouze k meznímu stavu pružnosti, které jsou již vypočtené v rovnici (24).

### 5.3.3 Koncepční návrh rozpínacího systému

Při návrhu rozpínacího systému bylo nutné, stejně jako u dalších dílčích částí, vycházet z požadavků na kvalitu vodiče a rozměrů dle kap.5.1.

Rozpínací systém umožňuje vycentrování částí trubkového vodiče a jejich fixaci pro svařování. Součástí rozpínacího systému jsou také svarové podložky, jež umožňují dosažení stabilnější svarové lázně a vyšší kvality sváru.

Funkci rozpínacího systému pak zajišťuje hybná část rozpínacího mechanismu vedená z pneumatického válce a nepohyblivé části uchycené na konci lineárního vedení hřídele.

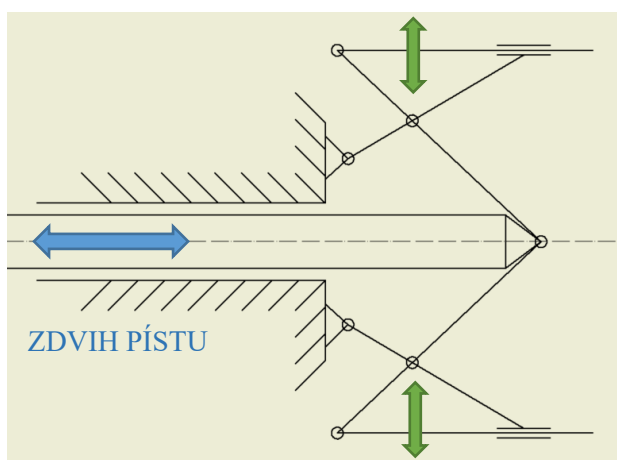
Pro návrh rozpínacího systému bylo vypracováno několik koncepčních řešení, z nichž byla zvolena jedna nejvíce vyhovující varianta pro danou aplikaci. Všechny koncepty byly navrženy pro podložení pod svár, skládající se ze šesti segmentů na svém obvodu. Jednotlivé segmenty pak mohou mít max. zdvih do 25 mm v kolmém směru. Důvodem zkráceného zdvihu

je především návrh svarových podložek, které jsou svými zámky a tvarem vhodné pro danou aplikaci (dále v kap.5.3)

Níže jsou uvedené jednotlivé koncepční návrhy.

### Nůžkový mechanismus

Ramena nůžkového mechanismu jsou překřížena a v místě křížení spojena čepem. Konce ramen jsou uchycena na hřídeli a části lineárního vedení rotačními vazbami a dále v místě držení svarových podložek posuvnou a rotační vazbou. Vlivem pohybu pístu pneumatického válce umožní zdvih kolmo vůči ose hřídele a tím i vnitřní rozpínání. Na obr.45 je možné vidět princip funkce nůžkového mechanismu



Obr. 45) Koncept nůžkového mechanismu

Výhody nůžkového mechanismu:

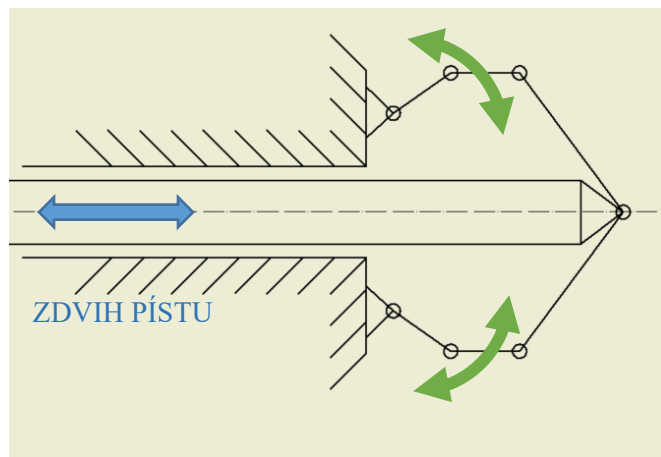
- Umožní zdvih kolmo vůči ose hřídele a tím i kolmo vůči kořene sváru
- Při zpětném pohybu uvolnění součásti vrátí svarové podložky do původní pozice

Nevýhody nůžkového mechanismu:

- Není možné použít pro zdvih pístu 50 mm při zdvihu svarových podložek do 25 mm. Při zkrácení zdvihu pístu hrozí nepřesnost v kolmém směru a nedopnutí součástí.
- Mechanismus z mnoha rozměrově malých dílů – hrozí poškození mechanismu.
- Vlivem rozměrů hřídele a lineárního vedení nelze použít pro nejmenší průměry.

### Zdvihadlový mechanismus

Princip funkce zdvihadlového mechanismu je obdobný nůžkovému. Rozdílem oproti nůžkovému je, že u zdvihadlového mechanismu nedochází ke křížení ramen a tato ramena jsou přímo spojena rotačními vazbami s držákem svarové podložky. Na obr.46 je možné vidět princip funkce zdvihadlového mechanismu.



Obr. 46) Koncept zdvihadlového mechanismu

Výhody zdvihadlového mechanismu:

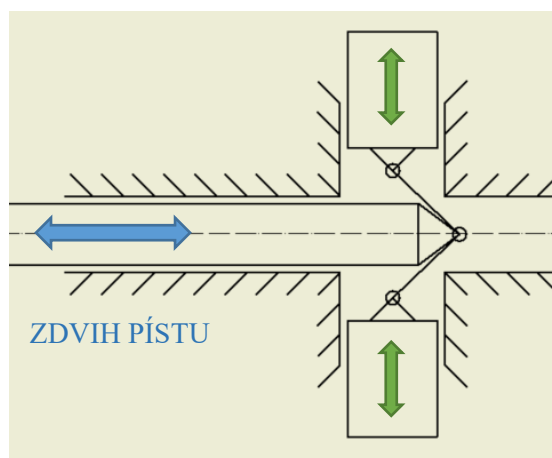
- Možnost použití i pro nejmenší průměry
- Méně namáhaných vazeb a částí oproti nůžkovému
- Při zpětném pohybu uvolnění součásti vrátí svarové podložky do původní pozice

Nevýhody nůžkového mechanismu:

- Není možné použít pro zdvih pístu 50 mm při zdvihu svarových podložek do 25 mm. Při zkrácení zdvihu pístu hrozí nepřesnost a nedopnutí součástí.
- Neumožní upínání v kolmém směru ale po křivce. Při uvolnění hrozí zaseknutí svarových podložek o kořen sváru.

### Zdvihací kameny

Funkci rozpínání a upnutí pomocí zdvihacích kamenů zajišťují ramena spojená s kamenem a hřídelí rotačními vazbami. Při chodu pístu jsou kameny pomocí ramen zdvihány ve vodící části lineárního vedení. Tímto je zajištěno kolmé rozepnutí vůči ose hřídele a místa spoje vodičů. Na obr.47 je možné vidět princip funkce pomocí zdvihacích kamenů.



Obr. 47) Koncept zdvihacích kamenů

Výhody zdvihacích kamenů:

- Možnost dosažení velké upínací síly
- Jednoduché řešení
- Při zpětném pohybu uvolnění součásti vrátí svarové podložky do původní pozice

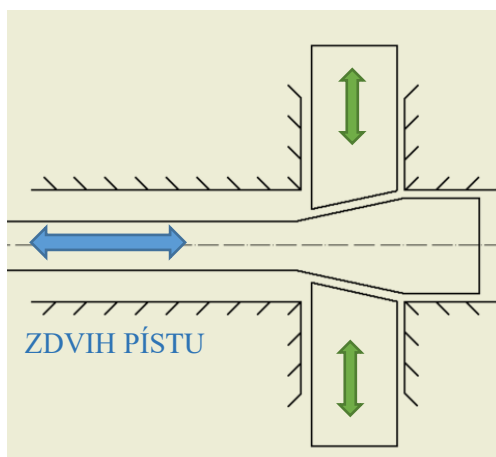
Nevýhody zdvihacích kamenů:

- Není možné použít pro zdvih pístu 50 mm při zdvihu svarových podložek do 25 mm.
- V rozepnutém stavu hrozí zaseknutí kamenů v jejich vedení.

### Rozpínací trn

Součástí hřídele hybného mechanismu je rozpínací trn kuželového tvaru, který vlivem pohybu pístu tlačí kameny ve vodící části lineárního vedení v kolmém směru od hřídele.

Princip funkce pomocí rozpínacího trnu je možné vidět na obr.48.



Obr. 48) Koncept rozpínacího trnu

Výhody rozpínacího trnu:

- Možnost dosažení velké upínací síly
- Jednoduché řešení
- Možné využití pístu při zdvihu 50 mm.
- Dosažení přesné velikosti zdvihu kamenů úpravou úhlu kuželu

Nevýhody zdvihacích kamenů:

- Nutné další prvky pro chod kamenů zpět do rozepnutého stavu

#### **5.3.4 Rozpínací trn**

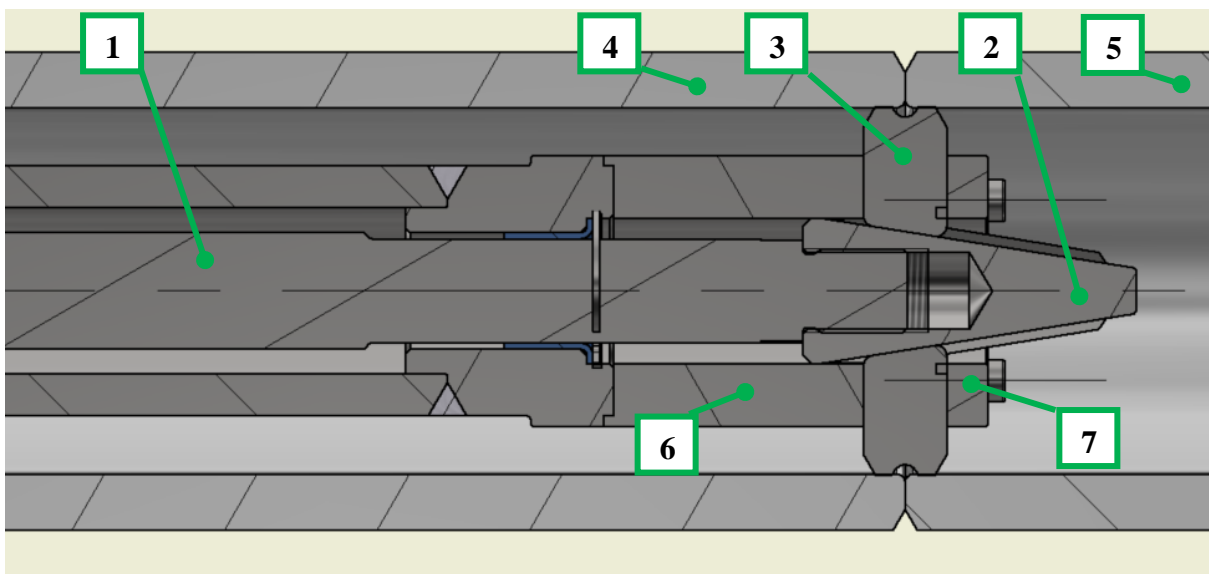
Z koncepčních návrhů bylo zvoleno jako nejvhodnější řešení vnitřní upnutí trubkových vodičů pomocí rozpínacího trnu.

Jak je z obr.49 patrné, s hřídelí jdoucí z pneumatického válce (poz.1) je spojený rozpínací trn (poz.2), který při tlačném pohybu hřídele vytlačuje kameny se svarovými

podložkami (poz.3) v kolmém směru spoje koncové a středové části vodiče (poz.4 a 5). Úhel styčných ploch kamene a rozpínacího trnu byl zvolen 9° vůči ose hřídele. Spolu s tímto úhlem a zdvihem byl na vržený tvar a zámky svarových podložek. Styk obou částí vodiče je ve středu drážky svarové podložky pro požadované formování kořene sváru. Chod kamenů v kolmém směru pak zajišťují části uchycené na lineárním vedení hřídele, které jsou vybaveny vodícími drážkami (poz.6 a 7.) Rozpínací mechanismus je na obou zrcadlově otočených polohovadlech a je tímto zajištěno požadované upnutí a vystředění všech částí vodičů.

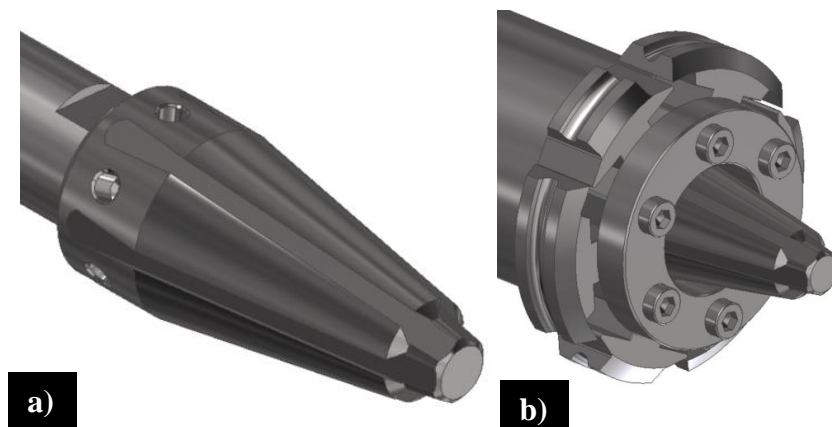
Rozpínací trn (poz.2) je na hřídeli (poz.1) uchycen pomocí metrického závitu s jemným stoupáním a zajištěn středně pevnostním lepidlem Loctite 243, které umožní i jejich demontáž.

Uložení rozpínacího trnu v lineárním vedení hřídele je v točném uložení s vůlí H7/e8.



Obr. 49) Rozpínací trn

Pro řádné dotažení metrického závitu rozpínacího trnu je hřídel vybavená drážky pro stranový klíč a středící trn otvory pro hákový klíč (obr. 50 a)). Na obr. 50 b) je možné vidět detail rozpínacího mechanismu, včetně svarových podložek

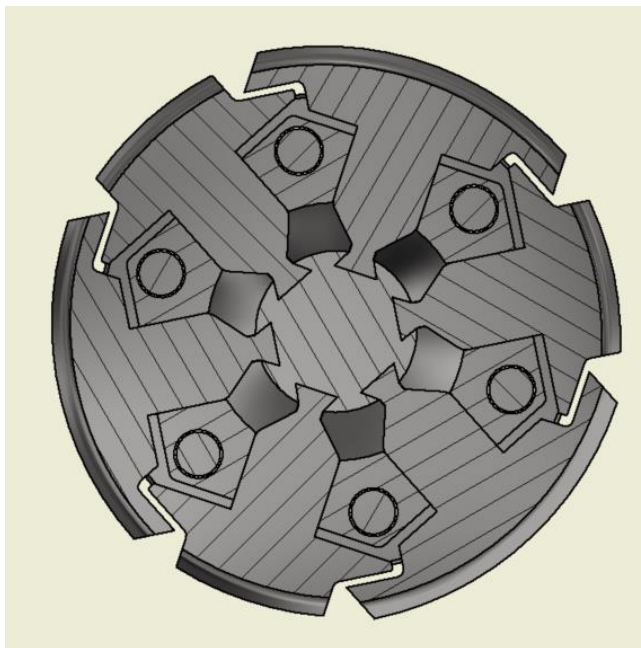


Obr. 50) Model rozpínacího trnu a) Uchycení na hřídel; b) Model ISO pohled

Po uvolnění svařence je také nutné zajistit zpětný chod vodících kamenů směrem ke hřídeli. Vzhledem k malým rozměrům celého upínacího systému pro svařování vodičů průměru

66 mm, je nemožné použití tažných pružin uchycených na jednotlivých segmentech. Řešení pomocí tažné pružiny by tak šlo pouze v případě jejího umístění po obvodě svarových podložek. Vlivem tepla uvolněného při svařování by ale tato tažná pružina byla značně namáhána a došlo by k jejímu poškození.

Pro zpětný pohyb kamenů svarových podložek byl rozpínací trn vybaven rybinovými drážky, které jednak zajistí zasunutí kamenů zpět do vodící části lineárního vedení, ale také umožní rotaci trnu a hřídele ve smyslu otoče polohovadla. Na obr.51 je možné vidět kolmý řez rozpínacího trnu s vodícími kameny svarových podložek, kde je patrný tvar unášecích drážek trnu, ale také vedení kamenů v kolmém směru.



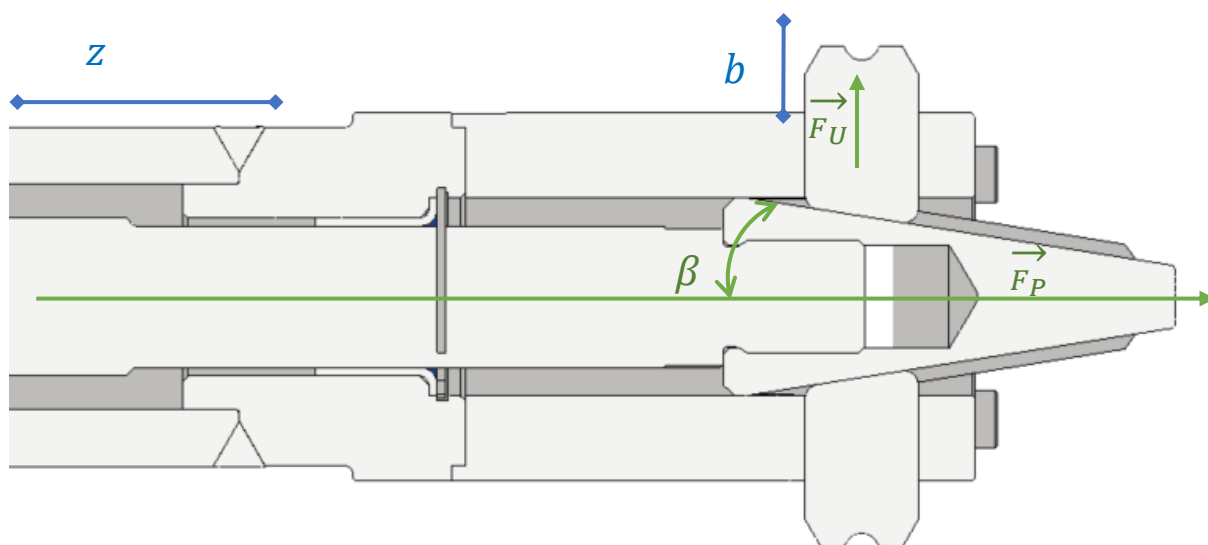
Obr. 51) Řez rozpínacím trnem

Volba vhodného materiálu vybraných částí:

- Rozpínací trn (obr.49 poz.2) - ČSN 17042 (1.4112- X90CrMoV 18)
- Vodící kameny svarových podložek (obr.49 poz.3) – žáruvzdorná nerezová ocel - ČSN 17251 (1.4828- X15CrNiSi 20-12)

V neposlední řadě je také nutná kontrola dosažitelné upínací síly a návrhu nastavení regulačního ventilu rozvodů stlačeného vzduchu. Upínací síla pro upnutí vodičů by měla být srovnatelná s upínací silou mechanismu při svařování přírubových pouzder z rovnice (5). Avšak musí být ponechána dostatečná rezerva v případě nutnosti zvýšení upínací síly, jejíž maximální hodnota může být při 6 barech tlaku stlačeného vzduchu.

Výpočty jsou provedené dle obr.52. pro stávající pneumatický dvojčinný válec s výškou zdvihu 50 mm a průměrem pístu 200 mm. Úhel rozpínacího trnu a kamenů byl zvolen 9°. Tento úhel odpovídá potřebnému zdvihu svarových podložek včetně jejich drážek pro kořen sváru, které byly navrhovány společně s rozpínacím trnem. Při výpočtech bylo stejně jako u mechanismu pro přírubová pouzdra zanedbáno tření.



Obr. 52) Výpočet upínací síly mechanismu vodičů

**Výpočet výšky maximálního zdvihu vodících kamenů:**

$$b = \operatorname{tg} \beta \cdot z \text{ [mm]} \quad (34)$$

$$b = \operatorname{tg} 9^\circ \cdot 50 = 7,9 \text{ mm}$$

kde:  $b$  Výška zdvihu jednoho kamene [mm]  
 $\beta$  Úhel styku kamenů s rozpínacím trnem vůči ose hřídele ( $\beta = 9^\circ$ )  
 $z$  Výška zdvihu pístu ( $z = 50 \text{ mm}$ )

**Výpočet potřebné síly pístu:**

$$F_P = \frac{6 \cdot F_U \cdot \cos(90^\circ - \beta)}{\cos(\beta)} \text{ [N]} \quad (35)$$

$$F_P = \frac{6 \cdot 6603,7 \cdot \cos(90^\circ - 9^\circ)}{\cos(9^\circ)} = 6\,275,5 \text{ N}$$

kde:  $F_P$  Síla pístu [N]  
 $F_U$  Stávající upínací síla jednoho kamene z rovnice (5) ( $F_U = 6603,7 \text{ N}$ )

**Výpočet nastavení tlaku regulačního ventilu:**

$$P = \frac{F_P}{S_P} \text{ [Pa]} \quad (36)$$

$$P = \frac{6275,5}{\frac{\pi \cdot 0,2^2}{4}} = 199,76 \text{ kPa} \Rightarrow P \doteq 2 \text{ bar}$$



kde:  $F_p$  Síla pístu [ $kN$ ]  
 $P$  Tlak rozvodů stlačeného vzduchu [ $kPa$ ]  
 $S_p$  Plocha pístu [ $m^2$ ]

Pro dosažení stejné upínací síly upínání vodičů při porovnání s mechanismem pro přírubová pouzdra, je nutné regulační ventil nastavit na tlak 2 bar. Upínací mechanismus má dostatečnou rezervu pro zvýšení nebo snížení tlaku pro upínací sílu.

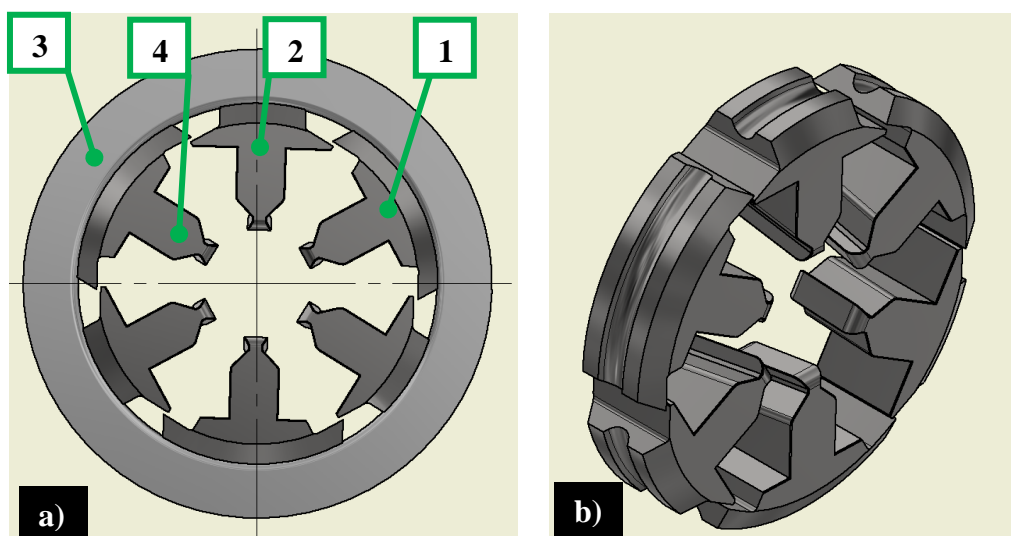
## 5.4 Svarové podložky

Poslední částí návrhu upínacího mechanismu pro svařování trubkových vodičů jsou svarové podložky.

Svarové podložky jsou rozpínacím mechanismem rozepřené uvnitř vodiče a zajišťují vycentrování obou částí a podepření sváru. Použitím podložek je docílen stabilnější proces svařování a tvoření svarové lázně při zamezení propadávání svařovaného a přídavného materiálu. Tímto se zmenší pravděpodobnost výskytu vad ve sváru a zajistí kvalitnějšímu sváru. Drážka po obvodě svarových podložek pak umožní vytvoření požadovaného kořene sváru a tím i požadovaného provaření a natavení vnitřních hran. Jejich další značnou výhodou je také odvod tepla ze svařované oblasti.

Při návrhu upínacího mechanismu bylo nutné vycházet z nejmenších průměrů vodiče dle Tab. 1, kterým je vodič ELK-14/300. Jednotlivé části mechanismu spolu se svarovými podložkami pak měly značný vliv při navrhování rozměrů a tvarů, a také při volbě vhodných materiálů jednotlivých dílů.

Jak je z obr.53 a) patrné, svarové podložky se skládají celkem ze šesti segmentů, z nichž tři jsou s vnitřním zámekem (poz.1) a tři s vnějším (poz.2). Rozepřené podložky kopírují vnitřní obvod částí vodiče (poz.3) a tak je nutné s každým vnitřním průměrem vodiče používat patřičné podložky.



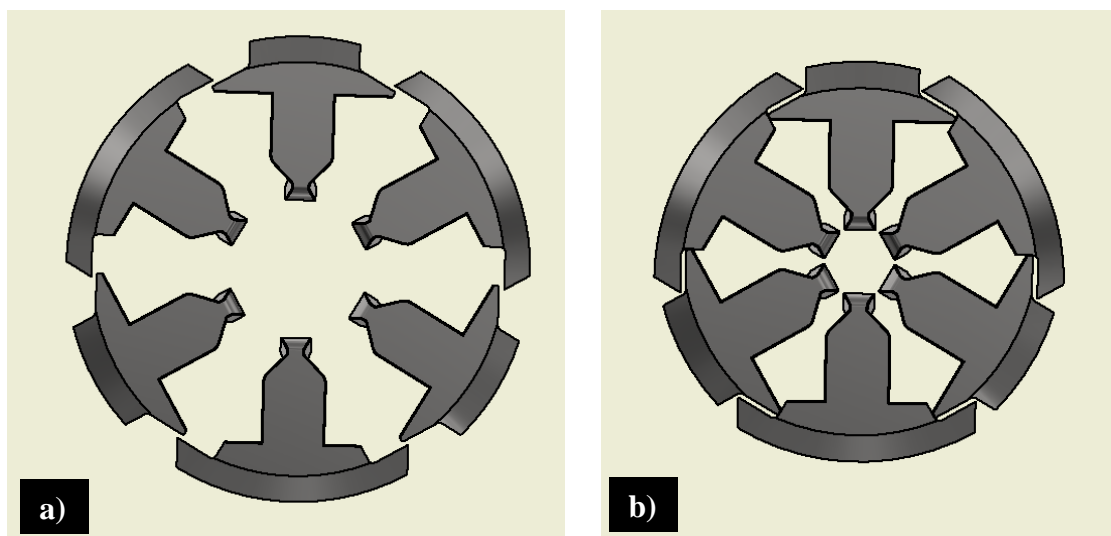
Obr. 53) Svarové podložky a) Rozepření ve vodiči; b) ISO pohled

Součástí podložek jsou vodící kameny (obr.53 a) poz.4), které jsou ukončeny rozměry pro vsunutí do rybinových drážek rozpínacího trnu. Svarová podložka ukončená vodícím kamenem je pouze pro případ vodiče ELK-14/300 a menších, kde bylo nutné vzhledem k funkčnosti navrhnout části pohromadě. Při svařování větších průměrů vodičů jsou vodící kameny samostatnou částí, která bude použitelná pro všechny zbylé větší průměry a nebude nutné jejich demontáže při přestavbě zařízení na jiný typ vodiče. Svarové podložky pak budou přichycené přes distanční vyměnitelné držáky. Takto se docílí jednodušší výměně svarových podložek a tím i zkrácení vedlejších časů, ale především také jejich levnější výroby.

Jak je vidět z obr.53b), svarové podložky jsou symetrické a jejich drážka je po obvodě v jejich středu. Tvar drážky, její šířka a hloubka, byla stanovena po výsledcích testovaných vzorků vodičů při ručním obloukovém svařování, které se svařovali bez podložení tzv. na propad.

Důležitou částí svarových podložek jsou také jejich zámky. Svarové podložky se zámky v upnutém stavu přes sebe mírně překrývají a tím zamezí propadávání svařovaného materiálu mezi ně. Zámky tak plní částečnou funkci svarových podložek. Při absenci zámků na svarových podložkách by mohlo docházet k nekvalitám ve svarovém spoji, ale také případný propadnutý materiál by zamezil uvolnění podložek. Na obr. 54 a) jsou znázorněné podložky s překryvem zámků v upnutém stavu. Na obr 54 b) je pak vidět svarové podložky se zámky po uvolnění.

Aby bylo zajištěno úplné uvolnění podložek a eliminováno jejich případnému zaseknutí o propadlý materiál, tvar zámků byl spolu s nosnou částí a tuhostí svarových podložek navrhován současně s rozpínacím trnem. Rozměry podložek jsou tak vyhovující pro maximální možný zdvih vodících kamenů dle rovnice (34).



Obr. 54) Svarové podložky a) Upnuto; b) Uvolněno

Navrhovaným vhodným materiálem svarových podložek je žáruvzdorná nerezová ocel - ČSN 17251 (1.4828- X15CrNiSi 20-12). Další alternativou jsou keramické materiály.

Vzhled svařovacích podložek je podobný pro všechny typy vodičů. Jedná se tak především o jejich uspořádání, tvar drážky pro kořen sváru, ale také jejich zámky. Rozměry nosných částí podložek se pak odvíjí podle vnitřních průměrů vodičů.

## 6 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Konstrukční návrh pro upínání trubkových vodičů na stávající svařovací automatizaci se skládá celkem ze tří částí, jimiž jsou uchycení krajních částí vodičů v polohovadle, vnitřní rozpínací mechanismus a v poslední řadě svarové podložky mechanismu.

Při návrhu uchycení krajních částí vodičů byly vypracována dvě řešení. Jedním z řešení je uchycení pomocí tříčelistového sklíčidla, které umožní upínání trubkových vodičů nezávisle na jejich průměrech. Výsledkem je velká rozmanitost produktů a možnost rozšíření upínacího zařízení pro další produkty válcového tvaru. Díky upínání pomocí tříčelistového sklíčidla jsou také minimální vedlejší časy, závislé na přestavbě zařízení pro daný typ vodiče.

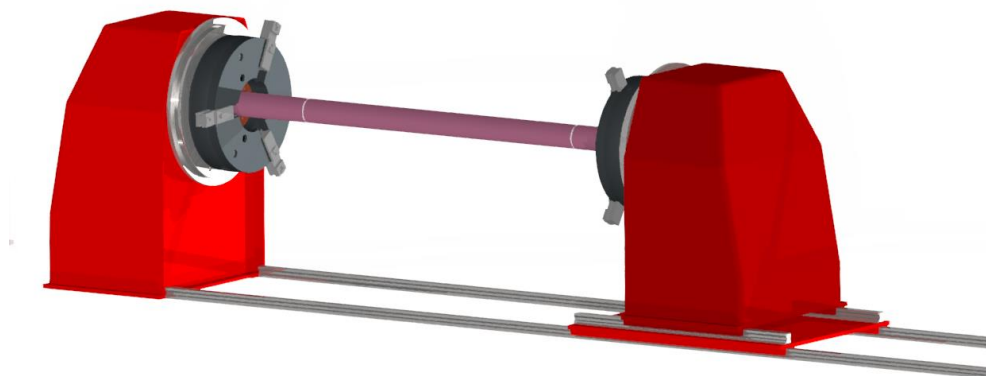
Druhým řešením je uchycení vodičů do tvarových půlkruhů. Náklady na pořízení tohoto typu upínání jsou sice nižší v porovnání se sklíčidlem, ale umožňují upnutí vodiče konkrétního vnějšího průměru a při přechodu na jiný je nutné zařízení přestavovat. Další nevýhodou tohoto řešení je nutná výroba požadovaných půlkruhů a tím také znemožnění prototypové výroby. Tříčelistové sklíčidlo oproti půlkruhům také lépe zajistí a zafixují svařované součásti.

Pokud by došlo ze strany ABB k výběru upnutí pomocí půlkruhů, je možné do mechanismu přidat upínací a středící prvky pro upnutí sklíčidla pro jeho aplikaci v budoucnu.

U návrhu rozpínacího mechanismu a jeho pohonu z pneumatického válce byly jednotlivé prvky předimenzovány. Jedná se především o hřídel mechanismu a její lineární vedení. Jako materiál byly použity vysokolegované nerezové ocele, které mají velký mez kluzu a mez pevnosti v tahu. Předimenzování těchto dílů tak umožňuje další rozšíření upínacího mechanismu o produkty, kterými mohou být i přírubová pouzdra, nebo rozměrnější a hmotnější válcové nádoby, kde může být vyšší požadavek na upínací sílu. Zároveň je vysoký koeficient bezpečnosti také z toho důvodu, že jednotlivé části budou tepelně ovlivňovány během obloukového svařování. Pro samotné rozpínání bylo ze čtyř koncepčních návrhů zvoleno rozpínání pomocí trnu. Trn je spolu s vedením rozpínacích kamenů přichycen na konci mechanismu, a je možné jej jednoduše demontovat. Může tak být formou adaptéru měnitelný pro jiné svařence v budoucnu.

V poslední řadě se jednalo o svarové podložky. Ty byly pro nejmenší průměry navrženy spolu s rozpínacími kameny. Pro větší průměry budou svarové podložky samostatně, a při změně druhu vodiče se tak nebudou měnit spolu s kameny.

Na obr.55 je možné vidět výsledný model upínání trubkových vodičů.



Obr. 55) Model výsledku konstrukčního návrhu

## 7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřená na konstrukční návrh upínacího mechanismu pro trubkové hliníkové vodiče, které jsou součástí plynem izolovaných vodičů pro zapouzďené rozvodny vyráběné ve společnosti ABB. Vodiče jsou v současnosti dodávány v jednom celku a požadavkem je svařování vodičů ze tří částí. Upínací mechanismus je navržen pro stávající svařovací automatizaci, jejíž součástí jsou rotační svařovací polohovadla vybavené obloukovými svářecími zdroji metody TIG. Na stávající automatizace se v současnosti svařují pouze přírubová pouzdra, a tak svařování vodičů je novinkou, která dosud ve společnosti ABB nebyla zavedená.

V prvních kapitolách byla v práci zpracována teoretická rešerše z oblasti upínání při svařování. Jednou z částí rešeršní práce jsou požadavky pro upínací pomůcky a zařízení, přístup k jejich konstrukci a účel a způsob používání. Teoretická část byla doplněná o příklady upínacích zařízení a pomůcek se zaměřením pro obloukové svařování válcových součástí. Na konci kapitoly jsou též uvedené příklady jiných metod svařování trubek.

V následující kapitole byla popsána produkce plynem izolovaných vodičů pro zapouzďené rozvodny ve společnosti ABB. Pro pochopení k citlivému přístupu k zapouzďeným vodičům a jejich vysokých požadavků na kvalitu je v práci rozebrána jejich struktura a také možné důsledky při nedodržení kvality. Následně je také stručně popsán proces toku materiálu v jednotlivých odděleních a také vybavení oddělení svařovny. To umožnilo formulovat jedny z požadavků pro svařování vodičů a také možnosti přístupu k samotnému návrhu.

Před samotným návrhem bylo také nutné porozumění současného stavu používání. Úvodem jsou vysvětleny důvody pro budoucí implementaci svařování vodičů. Následuje podrobný rozbor svařovací automatizace a také princip funkce upínacího mechanismu pro svařování přírubových pouzder pro vodiče. Důkladný rozbor byl důležitý pro navrhování jednotlivých dílů mechanismu.

Pro návrh upínacího mechanismu trubkových vodičů bylo také nutné definovat jednotlivé požadavky. Ty se skládají z požadavků a přístupů pro upínací přípravky určené pro obloukové svařování, požadavků na výstupní kvalitu vodičů ze strany ABB, ale také přístupu k problematice svařování hliníkových slitin.

Samotný konstrukční návrh se skládá ze tří částí. V první řadě bylo nutné navrhnout ustavení krajních částí v polohovadle, kde byly navrženy dva přístupy. Práce se dále zabývala vnitřním rozpínacím mechanismem a výběrem a rozpracováním nejvhodnějšího řešení ze čtyř koncepčních návrhů. Závěrem konstrukčního návrhu bylo navržení vhodných svarových podložek mechanismu.

Výsledkem bakalářské práce je konstrukční návrh upínacího mechanismu pro trubkové vodiče, který umožní svařování vodičů od 66 mm do 200 mm jejich vnitřních průměrů, možností dalšího rozšíření. Konstrukční návrh je podložený výpočty nejvíce namáhaných součástí a doplněný o výkresovou dokumentaci.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOUKAL, Jaroslav. Historie tavného svařování kovů. *Konstrukce* [online]. 2002, **2002**(4) [cit. 2019-03-01]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/historie-tavneho-svarovani-kovu/>
- [2] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. 1. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [4] *The History of Welding: How We Got to Where We Are Today: How We Got to Where We Are Today* [online]. b.r. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.premierwelding.co.uk/a/history-of-welding-where-would-we-be-without-welding>
- [5] PLÍVA, Ladislav. *Čs. stroje a pomocná zařízení pro obloukové, elektrostruskové a odporové svařování*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 282 s.
- [6] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky*. Praha: SNTL, 1988.
- [7] *Tříosé polohovadlo WPD 1500* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.hbt-weld.cz/katalog/triose-polohovadlo-wpd-1500/>
- [8] What Is Clamping Devices? Requirements of Clamping Devices. *Mecholic: Mecholic | Addicted To Mechanical Engineering* [online]. .: ., . [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.mecholic.com/2017/11/what-is-clamping-devices-requirements.html>
- [9] Svařovací stůl Frame Builder. In: *AEK svařovací technika s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.aek-svareci-technika.cz/zbozi-1604-svareci-stoly-a-pripravky-sverky-magnety.merici-pripravkove-a-svareci-stoly-Svarovaci-stul-Frame-Builder>
- [10] Vnitřní středící svěrka SPIDER 400-1. In: *Svarecky-elektrody* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/vnitri-stredici-sverka-spider-400-1>
- [11] Vnější středící svěrka 'E-Z' Fit Red - EZR6. In: *Svarecky-elektrody* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/vnejsi-stredici-sverka-e-z-fit-red-ezr6/d-11067>
- [12] ROTA-S plus 630-252 A15-SFG. *Schunk* [online]. b.r. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/upinaci-technika/product/19881-0814266-rotas-plus-630-252-a15-sfg/](https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/product/19881-0814266-rotas-plus-630-252-a15-sfg/)

- [13] ROZPÍNACÍ TRNY. In: *Kitagawa Europe* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/news/rozpinaci-trny>
- [14] PERMANENTNÍ MAGNETICKÝ UPÍNAČ PRO SOUSTRUŽENÍ A BROUŠENÍ NA KULATO ALUSTAR. In: *Walmag* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://eshop.walmag.cz/Manufacturer/cs-CZ/45/permanentni-magneticky-upinac-alustar>
- [15] Vakuová upínací deska 200x300 mm, 7800BX (AMF-375733). In: *BO-Import* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/upinaci-naradi/vakuove-upinani/vakuova-upinaci-deska-200x300-mm-7800bx-amf-375733-21274.html>
- [16] Svařování kolejového svršku trubičkovými dráty INNERSHIELD. In: *CZ Weld* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.czweld.cz/clanky/koleje.htm>
- [17] BUZEK, Vladislav. *Periferní zařízení RTP / Vladislav Buzek*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993. ISBN 80-7078-159-9.
- [18] PLÍVA, Ladislav. *Projektování svařovacích linek*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. Řada strojírenské literatury.
- [19] Svařovací polohovadla pro ruční svařování. In: *Hadyna* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.hadyna.cz/sluzby-a-technologie/robotizace-a-automatizace/svarovaci-polohovadla/>
- [20] KLADKOVÁ / OTOČNÁ POLOHOVADLA. In: *Boki - Robotizované systémy* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.boki.cz/produkty/kladkova-otocna-polohovadla/>
- [21] Horizontální svařovací automat. In: *HST Creative* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.hstcreative.cz/obchod/vyhodna-nabidka-stroju/>
- [22] Orbital Welding Heads. In: *Gobor* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.gobor-fluid.com/products/Orbital\\_welding\\_systems/144.html](http://www.gobor-fluid.com/products/Orbital_welding_systems/144.html)
- [23] Chain track Steel Pipe Welding Machine OD 250-3000mm Pipe Dia range. In: *Hyzont ( Shanghai ) Industrial Technologies Co.,Ltd* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.cuttingweldingmachine.com/sale-10933399-chain-track-steel-pipe-welding-machine-od-250-3000mm-pipe-dia-range.html>
- [24] Elektrické odporové svařování. In: *ELUC* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1808>
- [25] *Offer No.: ANG2003124: Orbital FSW machine*. Stirtec GmbH, 2018. Cenová nabídka pro ABB.
- [26] *History ABB* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/about/history>
- [27] *ABB základní údaje* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/cz/o-nas/zakladni-udaje>

- [28] *ABB our businesses* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/about/our-businesses>
- [29] *Factory portrait* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/4fd631aed5ec26b9c1257d0e00407965/Factory\\_portrait\\_brno\\_2GPH000045AA\\_CZ\\_A4.pdf](https://library.e.abb.com/public/4fd631aed5ec26b9c1257d0e00407965/Factory_portrait_brno_2GPH000045AA_CZ_A4.pdf)
- [30] ABB oficiálně zahájila výrobu komponent pro zapouzdřené rozvodny. *ELEKTRO* [online]. 2007, **2007**(12), 1 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/abb-oficialne-zahajila-vyrobu-komponent-pro-zapouzdrzene-rozvodny--12167>
- [31] *ABB slavnostně otevřela nový závod na výroby pro energetiku v České republice* [online]. 2014 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/clanek/abb-slavnostne-otevrela-novy-zavod-na-vyroby-pro-energetiku-v-ceske-republice--525>
- [32] CTPARK BRNO - A4.1 - ABB. In: *ARCHITECTS & ENGINEERS* [online]. b.r. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.k4.cz/ctpark-brno-a4-1-abb/t1269>
- [33] *Gas Insulated Switchgear - Concept Design for Service Continuity in GIS* [online]. 2013 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/chile-documentos/jornadas-tecnicas-2013---presentaciones/6-jessica-ponce-de-leon---gas-insulated-switchgear-concept-design-for-service-continuity-in-gis.pdf?sfvrsn=2>
- [34] Zapouzdřený rozváděč ABB se jmenovitým napětím 420 kV instalován v rozvodně Chodov. *All For Power* [online]. 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/zapouzdreny-rozvadec-abb-se-jmenovitim-napetim-420-kv-instalovan-v-rozvodne-chodov/>
- [35] Výrobní závod ABB pro zapouzdřené vodiče pro plynem izolované rozvodny VVN. In: *Pro elektrotechniky* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/akce/56.php>
- [36] *SF6 Sulfur Hexafluoride* [online]. 2011 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://powerplantccs.com/blog/2011/03/sf6-sulfur-hexafluoride.html>
- [37] *Fluorid sírový (SF6)* [online]. Ministerstvo životního prostředí, b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Fluorid\\_sirovy\\_Karta\\_latky\\_11012019.pdf](https://www.irz.cz/sites/default/files/latky/Fluorid_sirovy_Karta_latky_11012019.pdf)
- [38] Friction Stir Welding – Working Principle, Advantages, Disadvantages with Application: 2. september 2017. In: *The Welding Master* [online]. b.r. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.theweldingmaster.com/friction-stir-welding/>
- [39] BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 21: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu hliníku a jeho slitin (TIG, WIG, GTAW) : se souborem testových otázek*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2012. Svařování. ISBN 978-80-86698-30-4.



- [40] Válcce dle norem DNG/DNGL/DNGZK/DNGZS, ISO 15552. *FESTO* [online]. 2006 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.festo.com.cn/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_CS/PDF/CZ/DNG\\_CZ.PDF](https://www.festo.com.cn/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DNG_CZ.PDF)
- [41] TAŽNÉ PRUŽINY - NEREZOVÁ OCEL. *HENNLICH INDUSTRIE TECHNIK, spol. s r. o.* [online]. 2016 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://www.hennlich.cz/fileadmin/\\_migrated/cz\\_Ta%C5%BEn%C3%A9\\_pru%C5%BEniny\\_-\\_tabulky\\_nerez\\_2\\_0-2\\_5.pdf](https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/cz_Ta%C5%BEn%C3%A9_pru%C5%BEniny_-_tabulky_nerez_2_0-2_5.pdf)
- [42] JANÍČEK, Přemysl. *Mechanika těles: pružnost a pevnost I.* 3., přeprac. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2592-X.
- [43] *Materiálové normy* [online]. 2017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- [44] *Axiální kuličková ložiska ZKL* [online]. 2012 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/cat/2013/sdtbb>
- [45] *Nomogramy součinitelů koncentrace napětí* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://beta.fme.vutbr.cz/cpp/texty/p19.pdf>
- [46] *Vzpěrná stabilita prutů* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://beta.fme.vutbr.cz/cpp/texty/p15.pdf>

## 9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 9.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Průměry trubkových vodičů .....	48
--------	---------------------------------	----

### 9.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Svařovací automatizace ABB .....	16
Obr. 2)	Tříosé polohovadlo [7] .....	17
Obr. 3)	Svěrky a) Svařovací stůl [9]; b) Vnitřní svěrka [10]; c) Vnější svěrka [11] ...	21
Obr. 4)	Sklíčidlo a) Tříčelist'ové sklíčidlo [12]; b) Rozpínací trn [13].....	21
Obr. 5)	Upínací desky a) Magnetická deska [14]; b) Vakuová deska [15].....	22
Obr. 6)	a) Svarová příložka [16]; b) Svarová podložka .....	23
Obr. 7)	Polohovadlo a) Stolové [19]; b) Kladkové [20]; c) Rotační koníkové [21] ....	24
Obr. 8)	Orbitální svářečky a) Čelist'ová [22]; b) Řetězová [23] .....	25
Obr. 9)	O odporové svařování [24] .....	26
Obr. 10)	FSW [25] .....	26
Obr. 11)	Výrobní závod ABB PGHV Brno – Slatina [32] .....	27
Obr. 12)	Třífázový zapouzďřený vodič .....	28
Obr. 13)	Řez plynem izolované rozvodny [33].....	28
Obr. 14)	Zapouzďřená rozvodna ABB typu ELK-3/420 [34] .....	29
Obr. 15)	Řez zapouzďřeným vodičem [35] .....	30
Obr. 16)	SF6 [36] .....	30
Obr. 17)	Lakované pouzdro s vodičem .....	32
Obr. 18)	Přírubová pouzdra.....	33
Obr. 19)	Zařízení pro tlakovou a He – těsnostní zkoušku.....	34
Obr. 20)	Princip svařování třecím promíšením [38] .....	35
Obr. 21)	Hliníkové trubkové vodiče .....	36
Obr. 22)	Svařovací automatizace Fronius .....	37
Obr. 23)	Ovládání svařovací automatizace (1-Ovládací pult, 2-Dálkové ovládání).....	38
Obr. 24)	Usazená příruba na polohovadle pro pouzdro ELK-3/420 .....	39
Obr. 25)	Svarové podložky a) Před upnutím; b) Před ustavením částí (1-Svarová podložka, 2-Distanční držák) .....	40
Obr. 26)	Rozpínací mechanismus polohovadel .....	42
Obr. 27)	Výpočet upínací síly mechanismu .....	44

Obr. 28) Výpočet pružin [41] .....	45
Obr. 29) Výkres svařených trubkových vodičů .....	48
Obr. 30) Upnutí pomocí sklíčidla a) Řez modelem; b) Deska otoče; c) Upínací deska sklíčidla; d) Upnutí s vodičem .....	50
Obr. 31) Upnutí pomocí vymežovacích půlkruhů a) Řez modelem; b) ISO pohled modelu; c) Detail vymežovacích půlkruhů .....	53
Obr. 32) Upnutí tří částí vodiče na polohovadlech .....	55
Obr. 33) Hlavní části rozpínacího mechanismu.....	55
Obr. 34) Lineární vedení hřídele s vedením kamenů.....	56
Obr. 35) Pevnostní výpočet vedení (Poz.1: Koutový svar; Poz.2: Tupý V svar) .....	57
Obr. 36) Kontrola pevnosti koutového svaru.....	62
Obr. 37) Kontrola pevnosti tupého svaru.....	62
Obr. 38) Hybná část rozpínacího mechanismu .....	63
Obr. 39) Uložení axiálních ložisek .....	64
Obr. 40) Uložení hřídele v kluzném pouzdře .....	65
Obr. 41) Výpočet hřídele .....	66
Obr. 42) Součinitel koncentrace napětí [45].....	69
Obr. 43) Kontrola hřídele na vzpěr .....	71
Obr. 44) Koeficient vzpěrné stability [46].....	72
Obr. 45) Koncept nůžkového mechanismu.....	73
Obr. 46) Koncept zdvihadlového mechanismu.....	74
Obr. 47) Koncept zdvihacích kamenů .....	74
Obr. 48) Koncept rozpínacího trnu .....	75
Obr. 49) Rozpínací trn .....	76
Obr. 50) Model rozpínacího trnu a) Uchycení na hřídel; b) Model ISO pohled .....	76
Obr. 51) Řez rozpínacím trnem .....	77
Obr. 52) Výpočet upínací síly mechanismu vodičů.....	78
Obr. 53) Svarové podložky a) Rozepření ve vodiči; b) ISO pohled.....	79
Obr. 54) Svarové podložky a) Upnuto; b) Uvolněno.....	80
Obr. 55) Model výsledku konstrukčního návrhu .....	81

### 9.3 Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Jednotka	Popis
$F_0$	[N]	Síla pružiny ve volném stavu
$F_{Ax}$	[N]	Síla ve vazbě A v ose x
$F_{Ay}$	[N]	Síla ve vazbě A v ose y
$F_G$	[–]	Tíhová síla poloviny vodiče ELK-3/550
$F_P$	[N]	Síla pístu dvojčinného válce
$F_U$	[N]	Upínací síla při maximálním zdvihu kamene
$F_b$	[N]	Síla jedné pružiny při maximálním zdvihu kamene
$F_{np}$	[N]	Síla pružiny v pracovním stavu:
$L_0$	[mm]	Volná délka pružiny:
$L_i$	[mm]	Délka části hřídele
$L_n$	[mm]	Pracovní délka pružiny
$M_A$	[N]	Moment ve vazbě A
$M_O$	[Nm]	Ohybový moment
$R_e$	[MPa]	Mez kluzu v tahu
$R_i$	[mm]	Poloměr
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
$S_p$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha pístu dvojčinného válce
$W_O$	[mm <sup>4</sup> ]	Modul v průřezu v ohybu
$i_J$	[mm <sup>2</sup> ]	Poloměr setrvačnosti
$\lambda_k$	[–]	Mezní štíhlost prutu
$\sigma_{DT}$	[MPa]	Dovolené namáhání v tahu
$\sigma_O$	[MPa]	Ohybové napětí
$\tau_{Ds}$	[MPa]	Dovolené smykové namáhání
$\tau_s$	[MPa]	Smykové namáhání
$E$	[MPa]	Youngův model pružnosti
$J$	[mm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment v průřezu
$N$	[N]	Normálová síla
$NP$	[–]	Neznámé parametry
$P$	[kPa]	Tlak stlačeného vzduchu
$R$	[N/mm]	Tuhost pružiny
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu
$T$	[N]	Posouvající síla
$W$	[J]	Energie napjatosti
$b$	[mm]	Výška zdvihu kamenů

$d$	[mm]	Průměr
$i$	[–]	Počet stupňů volnosti tělesa
$k$	[–]	Koeficient bezpečnosti
$l$	[N]	Rameno působíště síly lineárního vedení
$s$	[–]	Podmínka statické určitosti
$u$	[mm]	Prodloužení hřídele v tahu
$w$	[mm]	Průhyb nosníku v místě působící síly
$x$	[mm]	Vzdálenost řezu od volného konce
$z$	[mm]	Výška zdvihu pneumatického
$\beta$	[°]	Úhel stoupání rozpínacího trnu
$\eta$	[–]	Počet deformačních parametrů omezených vazbami
$\lambda$	[–]	Štíhlost prutu
$\mu$	[–]	Počet neznámých parametrů
$\nu$	[–]	Počet silových podmínek
$\pi$	[–]	Ludolfovo číslo

Zkratka	Popis
ABB	ASEA Brown Boveri – společnost se zaměřením na elektrotechniku
PGHV	Power Grids High Voltage – výrobky velmi vysokého napětí
TIG	Svařování netavící se elektrodou v inertním plynu
MIG	Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu
FSW	Svařování třecím promíšením
TTT	Typ pohybu – translace, translace, translace
RTP	Robotizovaná technologická pracoviště
ASEA	Švédská společnost v oblasti elektrotechniky
BBC	Švýcarská společnost v oblasti elektrotechniky
GIS	Gas Insulated Switchgears – plynem izolované rozvodny
SF6	Izolační plyn
Qk	Metoda héliové těsnostní zkoušky
ELK-14/300	Zapouzdřený vodič pro 300 kV
ELK-3/420	Zapouzdřený vodič pro 420 kV
ELK-3/550	Zapouzdřený vodič pro 550 kV
ELK-04/145	Zapouzdřený vodič pro 145 kV
ELK-14/245c	Zapouzdřený vodič pro 245 kV

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

- VÝKRES SESTAVENÍ - Upínací mechanismus – P01-A1-S/00
- SEZNAM POLOŽEK – Upínací mechanismus – P01-A1-S/00
- VÝKRES SVARKU – Lineární mechanismus – P01-A2-S/01
- VÝKRES PODSESTAVY – Svarové podložky – P01-A2-S/02
- VÝROBNÍ VÝKRES – Hřídel mechanismu – P01-A2-V/05
- VÝROBNÍ VÝKRES – Rozpínací trn – P01-A3-V/06
- VÝROBNÍ VÝKRES – Středící příruba – P01-A3-V/10